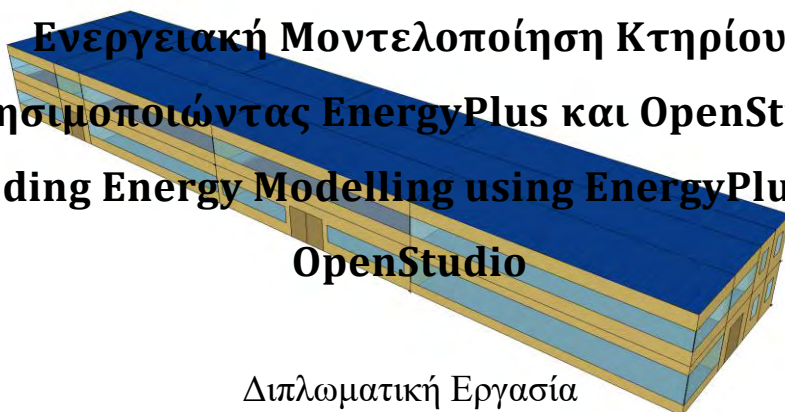




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Ενεργειακή Μοντελοποίηση Κτηρίου**  
**χρησιμοποιώντας EnergyPlus και OpenStudio**  
**Building Energy Modelling using EnergyPlus and**  
**OpenStudio**



Διπλωματική Εργασία  
Μηλιόπουλος Ραφαήλ

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Δρ. Τσουκαλάς Ελευθέριος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ. Βαβουγιός Διονύσιος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Βόλος, 2017



Διπλωματική εργασία για την απόκτηση του Διπλώματος του Μηχανικού Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Copyright © Miliopoulos Rafail, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου, κ. Τσουκαλά Ελευθέριο και τον κ. Βαβουγιό Διονύσιο, για την πολύτιμη βοήθεια τους και την καθοδήγηση που μου προσέφεραν σε όλη την πορεία της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και τον διδακτορικό φοιτητή Ραφίκ Φαϊντί για όλη την βοήθεια που μου προσέφερε στην συγγραφή της. Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη και την ανεκτίμητη βοήθεια που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Μηλιόπουλος Ραφαήλ

Βόλος, 2017

## Περίληψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διεξαγωγή ενεργειακής μοντελοποίησης για ένα κτίριο γραφείων μεσαίου μεγέθους χρησιμοποιώντας συστήματα VRF για τον κλιματισμό και εξωτερικές μονάδες αέρα για τον αερισμό. Το λογισμικό για τη διεξαγωγή της μελέτης προσομοίωσης είναι η μηχανή λογισμικού EnergyPlus και η πλατφόρμα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως γραφική διεπαφή χρήστη είναι το OpenStudio. Επιπλέον, η συγκεκριμένη εργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της πλατφόρμας OpenStudio και των χαρακτηριστικών της. Το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζει την τρέχουσα κατάσταση της ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα σε όλο τον κόσμο πώς και αυτή η κατανάλωση επηρεάζεται από την άνοδο του πληθυσμού των ανθρώπων, των κατοικιών, τα κτίρια τριτογενούς τομέα, καθώς και τον αντίκτυπο που προκαλεί στο περιβάλλον και στις φυσικές πηγές. Το άλλο μέρος του πρώτου κεφαλαίου παρουσιάζει την έννοια της ενεργειακής μοντελοποίησης των κτιρίων και τα πλεονεκτήματά της. Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει τα λογισμικά τα οποία θα χρησιμοποιηθούν, και περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο υλοποιείται μια διαδικασία μοντελοποίησης κτηρίου, ξεκινώντας από το σχεδιασμό του κελύφους του κτιρίου χρησιμοποιώντας το λογισμικό Google SketchUp και παρουσιάζοντας τις παραμέτρους που χρειάζεται το OpenStudio για την προσομοίωση του μοντέλου. Το τρίτο κεφάλαιο περιέχει λεπτομερή παρουσίαση των δεδομένων του μοντέλου, όπως είναι οι χώροι και ο προσανατολισμός του κτιρίου, οι θερμικές ιδιότητες των υλικών και των κατασκευών, τα χρονοδιαγράμματα των χώρων και κάποιες γενικές πληροφορίες σχετικά με τις αντλίες θερμότητας των VRF και τις εξωτερικές μονάδες αερισμού. Το τέταρτο κεφάλαιο παρέχει ορισμένες γενικές πληροφορίες σχετικά με τη δομή των συστημάτων VRF και πώς τα συγκεκριμένα σύστημα λειτουργούν. Το πέμπτο κεφάλαιο παρέχει μια παρουσίαση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, όπως τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης των εξαρτημάτων και η συνολική κατανάλωση του κτιρίου ετησίως. Το τελευταίο κεφάλαιο παρέχει ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με την ανάλυση, καθώς και ορισμένες τροποποιήσεις στο μοντέλο, προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή του αποδοτικότητα.

## **Abstract**

The aim of this thesis is to conduct an energy modelling for a medium office building using VRF systems for air-conditioning and dedicated outdoor air system for ventilation. The software for carrying out the simulation study is the EnergyPlus engine and the platform that is going to be used as a graphical user interface is the OpenStudio platform. In addition, this thesis can be used as a guide for other people to understand the way OpenStudio platform works and which its features are. The first chapter presents the current situation of the energy consumption in the building sector across the world and how this consumption is being affected by the rise of human population, residences and tertiary buildings, as well as the impact that provokes on the environment and natural sources. The other part of the first chapter presents the building energy modelling concept and its advantages. The second chapter provides a presentation of the softwares that are going to be used and describes how a procedure modelling is being implemented, starting with the design of the building envelope using Google SketchUp and presenting also which parameters OpenStudio needs, in order to simulate the model. The third chapter contains a detailed presentation of the model's data input such as the the spaces and the orientation of the building, the thermal properties of the materials and the constructions, the shedules of the spaces and some general information about the VRF heat pumps and the outdoor air systems. The fourth chapter provides some information about VRF systems' structure in general and how they operate. The fifth chapter provides a presentation of the simulation results, such as the components sizing results and the total energy consumption of the buiding annually. The last chapter provides some conclusions regarding the analusis, as well as some modifications in the model in order to improve its energy efficiency.

# Περιεχόμενα

<b>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ .....</b>	<b>1</b>
<b>ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ .....</b>	<b>1</b>
<b>Ευχαριστίες .....</b>	<b>4</b>
<b>Περίληψη .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</b>	<b>9</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Η κατάσταση σήμερα.....	9
1.2 Η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των κτηρίων .....	10
1.3 Ενεργειακή Μοντελοποίηση .....	12
1.4 Τα πλεονεκτήματα της ενεργειακής μοντελοποίησης .....	13
Μείωση των πρώτων δαπανών.....	14
Μειωμένο κόστος λειτουργίας.....	14
Βελτιωμένη ικανοποίηση ατόμων.....	15
<b>2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>16</b>
<b>ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ .....</b>	<b>16</b>
2.1 Google SketchUp .....	16
2.2 Η μηχανή προσομοίωσης EnergyPlus .....	16
2.3 Η πλατφόρμα OpenStudio .....	18
2.4 Παράμετροι εισόδου στην πλατφόρμα OpenStudio.....	19
Site (Τοποθεσία) .....	20
Schedules (Χρονοδιαγράμματα).....	21
Constructions (Κατασκευές) .....	23
Loads (Φορτία).....	23
Space Types (Είδη Χώρων).....	24
Facility (Εγκατάσταση) .....	24
Spaces (Χώροι).....	24
Thermal Zones (Θερμικές Ζώνες) .....	26
HVAC (Συστήματα Θέρμανσης, Αερισμού, Κλιματισμού) .....	26
Output Variables (Μεταβλητές Εξόδου).....	26
Simulation Settings (Ρυθμίσεις Προσομοίωσης).....	26
<b>Μέτρα (Measures) .....</b>	<b>26</b>
Run Simulation (Έναρξη Προσομοίωσης).....	27
Results Summary (Σύνοψη Αποτελεσμάτων) .....	27
<b>Building Component Library (BCL) .....</b>	<b>27</b>
<b>3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</b>	<b>28</b>
<b>ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ</b>	
<b>(VARIABLE REFRIGERANT FLUID - VRF) .....</b>	<b>28</b>
3.1 Περιγραφή Συστήματος VRF .....	28
3.2 Τυπική δομή συστήματος VRF.....	28
3.3 Συνδεσιμότητα VRF.....	29
3.4 Ο τρόπος λειτουργίας του VRF: .....	29

3.5	Τύποι συστημάτων VRF.....	30
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	32
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ OPENSTUDIO .....	32
4.1	Χαρακτηριστικά Κτηρίου .....	32
	Κλιματικά Δεδομένα.....	32
	Χρονοδιαγράμματα .....	33
	Χώροι Κτηρίου .....	34
	Τύποι Χώρων .....	35
	Κατασκευές - Υλικά.....	36
	Απαιτούμενος νωπός αέρας.....	39
	Συστήματα Κλιματισμού – Αντλίες Θερμότητας Συστήματος Μεταβαλλόμενου όγκου ρευστού .....	40
	Συστήματα Κλιματισμού – Εξωτερικές Μονάδες Αερισμού .....	45
	Ψυκτικά και Θερμαντικά στοιχεία των εξωτερικών μονάδων αερισμού .....	46
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	48
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	48
5.1	Εισαγωγή.....	48
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	52
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	53



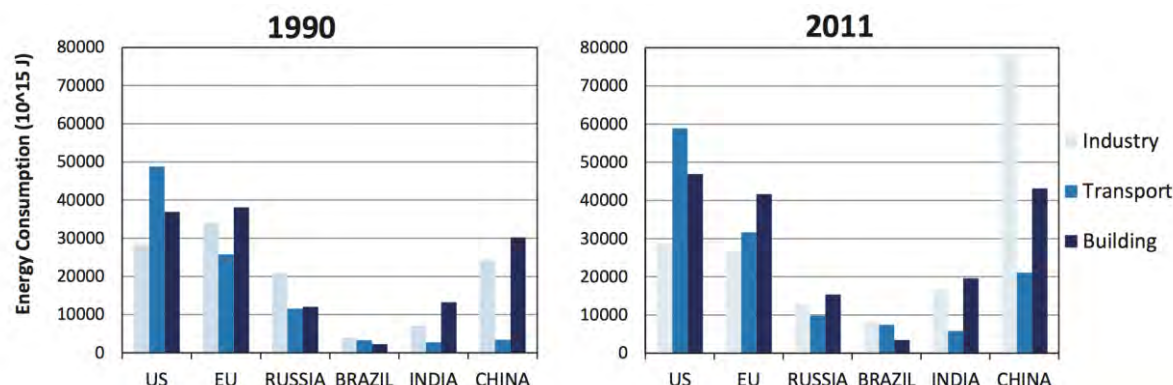
# 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Η κατάσταση σήμερα

Η αύξηση του πληθυσμού και η συνειδητοποίηση ότι πολλά περιβαλλοντικά και τεχνολογικά ζητήματα που σχετίζονται με την τρέχουσα υποβάθμιση των φυσικών πόρων, όπως η έλλειψη ενέργειας και η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έχουν προκαλέσει πολλές ανησυχίες σχετικά με τις τρέχουσες τάσεις στην κατανάλωση ενέργειας, σε παγκόσμιο επίπεδο [1]. Μια πρόσφατη έρευνα της BP προβλέπει ότι η παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου θα αυξηθεί κατά περίπου 30% από το 2007 έως το 2035, ενώ οι καταναλώσεις σε άνθρακα και φυσικό αέριο θα αυξηθούν κατά 50% [2]. Επιπροσθέτως, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) προβλέπει ότι, χωρίς ριζικές αλλαγές, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που σχετίζονται με την ενέργεια θα διπλασιαστούν έως το 2050 [3]. Στο πλαίσιο αυτό, ο κτηριακός τομέας έχει προσελκύσει όλο και περισσότερο την προσοχή σε παγκόσμια κλίμακα [4-6]. Ο συγκεκριμένος τομέας είναι υπεύθυνος για την κατανάλωση μέχρι και 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε ορισμένες ανεπτυγμένες χώρες, με αντίστοιχη εκπομπή 40% εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου επί του συνολικού ποσοστού [7,8]. Το 2010, τα κτίρια αντιπροσώπευαν το 32% της συνολικής παγκόσμιας τελικής χρήσης ενέργειας (ίσοδυναμει με 117 Exajoules), το 19% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με την ενέργεια και το 33% των εκπομπών μαύρου άνθρακα [11]. Δεδομένων των διαφορετικών εθνικών συνθηκών, όπως η οικονομική ανάπτυξη, ο αριθμός των κατοίκων και τα κλιματικά χαρακτηριστικά, έχουν προταθεί διάφορες πολιτικές για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια [9]. Μια διεθνής σύγκριση δείχνει ότι οι αναπτυγμένες χώρες έχουν σχετικά ώριμες πολιτικές και συστήματα δράσης, ενώ οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν αρχίσει να εξετάζουν το συγκεκριμένο θέμα τα τελευταία χρόνια. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα στο σχήμα 2, δείχνει πώς καταναλώνεται η ενέργεια, καθώς και που μπορεί να υπάρξει μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Στην Ευρώπη, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια τα τελευταία χρόνια ήταν περιορισμένη, αλλά η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στον τομέα της βιομηχανίας σημειώθηκε από το 1990, καθώς ένα μεγάλο μέρος του τομέα της οικονομίας μεταφέρθηκε από τον κατασκευαστικό κλάδο σε εκείνο των υπηρεσιών.

Ωστόσο η κατάσταση είναι αρκετά διαφορετική στις χώρες που βρίσκονται σε στάδιο πρόσφατα προηγμένης οικονομικής ανάπτυξης (Κίνα, Ινδία), στις οποίες η ενεργειακή κατανάλωση αυξάνεται σημαντικά σε όλους σχεδόν τους κλάδους, συμπεριλαμβανομένου του κτηρίου.



ΣΧΗΜΑ 1: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ (ΠΗΓΗ [7],[10])

## 1.2 Η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των κτηρίων

Η γενική ιδέα με την οποία προσεγγίζεται η εξοικονόμηση ενέργειας στον τομέα των κτηρίων μπορεί να εφαρμοσθεί, τόσο σε νέες κατασκευές υψηλής τεχνολογίας και απόδοσης, όσο και στον εκσυγχρονισμό παλαιών. Καθώς ο πληθυσμός, η αστικοποίηση και ο στεγαστικός τομέας αυξάνονται αμυδρά στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ, οι αντίστοιχες χώρες που ανήκουν μέσα σε αυτές, επικεντρώνονται στην στρατηγική του εκσυγχρονισμού των ήδη υπάρχοντων κατασκευών που διαθέτουν, και παρόλο που το ποσοστό αντικατάστασης νέων κτιρίων αποτελεί ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 3-5%, υπάρχει μεγάλη προώθηση των κτηρίων που παρουσιάζουν σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας [8]. Η συνεχής ανάπτυξη, ωστόσο της βιομηχανίας και του πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα αύξησης της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης, αφού ο βαθμός που επηρεάζει το συνολικό περιβάλλον είναι αρκετά μεγάλος [7]. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι στην Ινδία και την Κίνα το ποσοστό του πληθυσμού που μένει σε πόλεις αναμένεται να αυξηθεί μέσα στις επόμενες 2 με 3 δεκαετίες από 30% και 45% αντίστοιχα στο 60%, σε συνδυασμό με την ξεπερασμένη ποιότητα των υφιστάμενων κτηρίων, προκύπτει το γεγονός ότι όλη αυτή η διαδικασία της αστικοποίησης, θα επιφέρει ραγδαία αύξηση των ενεργειακών αναγκών, με αποτέλεσμα την ανάγκη λήψης μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, ακόμα περισσότερο στις συγκεκριμένες χώρες. Είναι επίσης ενδιαφέρον να εξετασθεί η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον για την καλύτερη κατανόηση των

περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κάθε χώρα. Αξιοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία, προκύπτει αναγκαία η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε όλους του τομείς στο μέγιστο δυνατό επίπεδο που μπορεί αυτή να επιτευχθεί, καθώς και η υιοθέτηση στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Από στατιστικά της έρευνας προκύπτει ότι η ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη και θέρμανση στον τομέα των κτηρίων και των βιομηχανιών, αντιπροσωπεύει το 50% της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση [13].

Στις οικιακές κατοικίες της ΕΕ, μόνο η θέρμανση και το ζεστό νερό αντιπροσωπεύουν το 79% της συνολικής τελικής χρήσης ενέργειας (192,5 Mtoe). Η ψύξη (οικιακές) αποτελεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό της συνολικής τελικής χρήσης ενέργειας, αλλά η ζήτηση από νοικοκυριά και επιχειρήσεις όπως η βιομηχανία τροφίμων αυξάνεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η τάση αυτή συνδέεται επίσης με την κλιματική αλλαγή και την αύξηση της θερμοκρασίας. Στη τομέα της βιομηχανίας χρησιμοποιήθηκε για τη θέρμανση χώρων και βιομηχανικών διεργασιών το 70,6% της κατανάλωσης ενέργειας (193,6 Mtoe), το 26,7% (73,3 Mtoe) για φωτισμό και ηλεκτρικές διεργασίες, όπως κινητήρες μηχανών και το 2,7% (7,2 Mtoe) για ψύξη. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι το 84% της ψύξης και θέρμανσης παράγεται από ορυκτά καύσιμα και δεδομένου ότι πρέπει να επιτευχθούν κλιματικές επιδιώξεις και ενεργειακοί στόχοι που έχουν τεθεί από την ΕΕ, καθίσταται αναγκαίο ο τομέας της θέρμανσης και της ψύξης να μειώσει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας καθώς και το ποσοστό των ορυκτών καυσίμων στην συνολική παραγωγή ενέργειας [13]. Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια και τη βιομηχανία μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση προηγμένων τεχνικών κατασκευής και σχεδίασης καθώς και μονωτικών υλικών υψηλής απόδοσης κατά την ανακαίνιση κτηρίων. Εξοικονόμη ενέργειας μπορεί επίσης να επιτευχθεί παρέχοντας καλύτερη πληροφόρηση και έλεγχο της χρήσης ενέργειας με ευφυή συστήματα ελέγχου τα οποία μπορούν να διαχειριστούν τον έλεγχο και τις συνθήκες λειτουργίας ενός χώρου, με “έξυπνο” τρόπο. Η αναβάθμιση επίσης του εξοπλισμού κλιματισμού με πιο σύγχρονες και αποδοτικές τεχνολογίες καθώς και η υιοθέτηση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η βιομάζα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα καθώς και οι μονάδες συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να προσφέρουν καθαρή ενέργεια στο δίκτυο. Μια ακόμα στρατηγική η οποία μπορεί να συμβάλλει στον τομέα των κτηρίων και της ενέργειας

που καταναλώνουν, αποτελεί η ενεργειακή μοντελοποίηση των κτηρίων και οι λόγοι αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

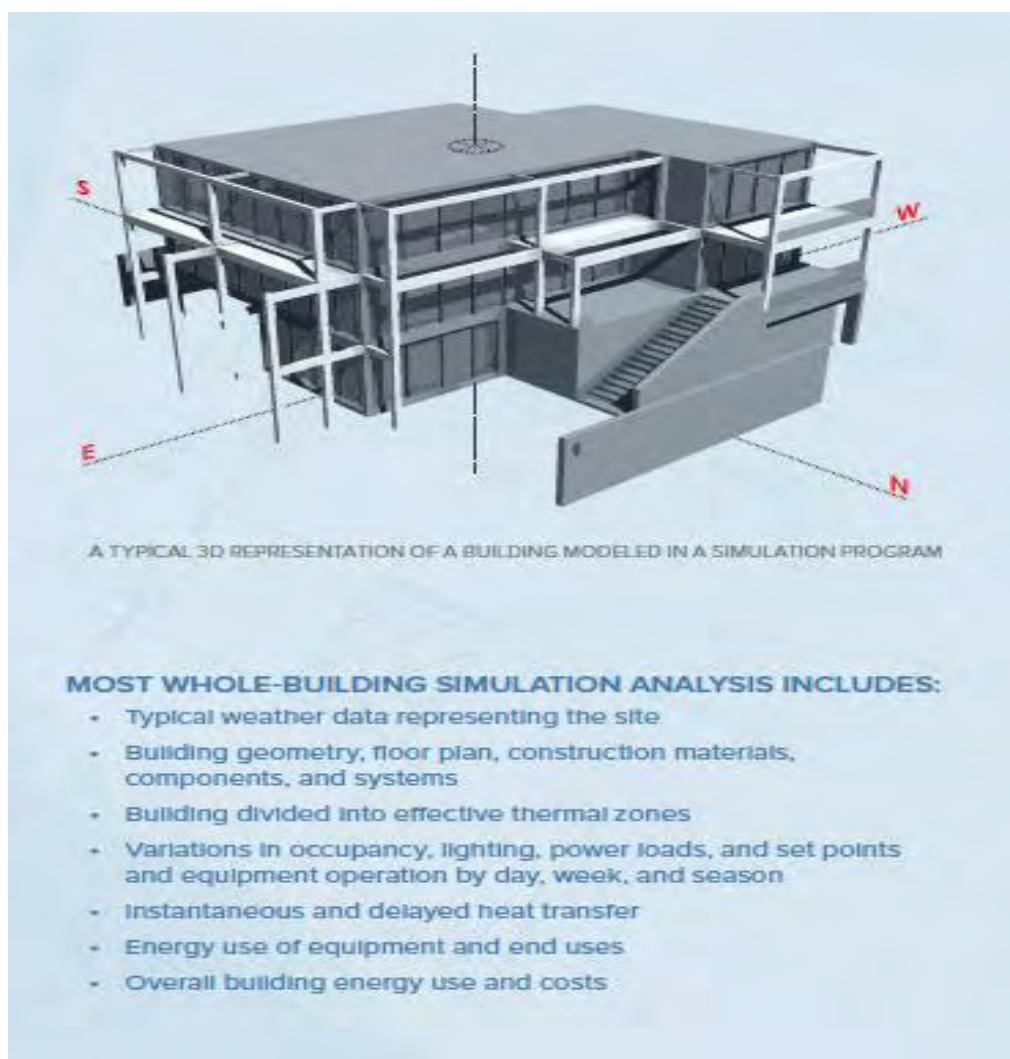
### **1.3 Ενεργειακή Μοντελοποίηση**

Η Ενεργειακή Μοντελοποίηση Κτηρίου (Building Energy Modeling - BEM) είναι η πρακτική της χρήσης λογισμικού προσομοίωσης που βασίζεται σε υπολογιστή, με σκοπό την λεπτομερή ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου μέσω των συστημάτων που χρησιμοποιούν ενέργεια μέσα σε αυτό. Το λογισμικό προσομοίωσης λειτουργεί με τη θέσπιση ενός μαθηματικού μοντέλου που παρέχει μια κατά προσέγγιση απεικόνιση του κτιρίου. Ένας μηχανικός ενέργειας θα εισάγει δεδομένα για να δημιουργήσει το μοντέλο του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένου του καιρού, τον προσανατολισμό του, τη γεωμετρία, τις κατασκευές, τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας, καθώς και τον εξοπλισμό που καταναλώνει ενέργεια. Ο μηχανισμός υπολογισμού λύνει τις εξισώσεις που έχουν τις ρίζες τους στη θερμοδυναμική και στην οικοδομική επιστήμη. Μια ενιαία προσομοίωση ολόκληρου του κτιρίου μπορεί να απαιτήσει δευτερόλεπτα έως ώρες για να τρέξει, ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας και πολυπλοκότητας της ανάλυσης. Τα αποτελέσματα συνήθως αναφέρονται σε ετήσιες επιδόσεις και περιλαμβάνουν τα φορτία ψύξης και θέρμανσης χώρου, τις επιπτώσεις του φυσικού φωτισμού ημέρας, την χρήση ενέργειας από τον εξοπλισμό, την κατανάλωση πόρων, τα ενεργειακά κόστη και άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με την απόδοση [12].

Η βελτίωση της αποτελεσματικότητας μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση συνιστώμενων αντικειμένων που συλλέγονται από λίστες προδιαγραφών σε στοιχεία σχεδιασμού. Ωστόσο, η EMK (BEM) προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση που ενθαρρύνει κάποιες ολοκληρωμένες λύσεις προσαρμοσμένου σχεδιασμού, οι οποίες προσφέρουν βαθύτερη εξοικονόμηση ενέργειας στο υπάρχον μοντέλο. Η χρήση της EMK (BEM) για τη σύγκριση των επιλογών ενεργειακής απόδοσης κατευθύνει τις αποφάσεις σχεδιασμού όχι μόνο πριν από την κατασκευή του κτηρίου αλλά ακόμα και πριν την παραγγελία των υλικών κατασκευής. Επίσης, καθοδηγεί τα υφιστάμενα κτιριακά έργα για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας ή για τη διερεύνηση ευκαιριών μετασκευής. Το BEM περιλαμβάνει προσομοίωση ολόκληρου του κτιρίου καθώς και λεπτομερή ανάλυση στοιχείων, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα εργαλεία λογισμικού που καλύπτουν συγκεκριμένα ζητήματα, όπως η μεταφορά υγρασίας μέσω

οικοδομικών υλικών, ο φυσικός φωτισμός, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, ο φυσικός αερισμός και η άνεση των ανθρώπων [12].

Η ενεργειακή μοντελοποίηση μπορεί να βελτιστοποιήσει τις πιθανές εναλλακτικές επιλογές και να επιτρέψει στη σχεδιαστική ομάδα να δώσει προτεραιότητα σε στρατηγικές που θα έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου και στην άνεση των ανθρώπων μέσα σε αυτό.



ΕΙΚΟΝΑ 1: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ [12]

#### 1.4 Τα πλεονεκτήματα της ενεργειακής μοντελοποίησης

Η Ενεργειακή Μοντελοποίηση προσφέρει πολλά οφέλη τόσο για νέα έργα κατασκευής όσο και για έργα εκσυγχρονισμού μιας ήδη υπάρχουσας κατασκευής. Για παράδειγμα υποστηρίζει μια ολοκληρωμένη διαδικασία σχεδιασμού (Integrated Design Process - IDP) μέσω της οποίας οι στόχοι καθορίζονται βάσει των αποτελεσμάτων και συμφωνούνται από τους ενδιαφερόμενους φορείς σε αρχικό στάδιο της διαδικασίας κατασκευής ενός έργου.

Επίσης, έχει τη δυνατότητα να παρέχει στη σχεδιαστική ομάδα τα στοιχεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση στρατηγικών και βέλτιστων εμπορικών συναλλαγών μεταξύ του κόστους των έργων και των ετήσιων ενεργειακών δαπανών για το κτίριο. Ένα ακόμα θετικό στοιχείο της ενεργειακής μοντελοποίησης κτιρίου, αποτελεί η εφαρμογή της σε ήδη υπάρχοντα κτίρια για τον έλεγχο και την ενημέρωση των λειτουργιών τους. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στους μηχανικούς να συγκρίνουν τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της ενεργειακής δομής με την πραγματική απόδοση του κτιρίου και να εντοπίσουν πιθανές ελλείψεις απόδοσης, καθώς και σχεδιαστικά λάθη που έχουν πραγματοποιηθεί, με απώτερο σκοπό την αποφυγή τους σε μελλοντικά έργα. Λειτουργεί επίσης ως σημείο αναφοράς για τη σύγκριση των επιδόσεων σε επίπεδο ολόκληρου του κτιρίου, του συστήματος ή του εξοπλισμού, αφού μέσω της προσομοίωσης του μοντέλου διασφαλίζεται ότι όλα λειτουργούν σωστά.

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τρεις τρόποι με τους οποίους η EMK (BEM) μπορεί να προσφέρει αξία σε ένα έργο και να ωφελήσει τον ιδιοκτήτη:

#### **Μείωση των πρώτων δαπανών**

Η EMK μπορεί να μειώσει το αρχικό κόστος ενός κτιρίου με ολιστική λογιστική σχετικά με τα θερμικά στοιχεία, τα συστήματα και τους ελέγχους που θα χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να επιτευχθεί απλοποίηση των συστημάτων και σωστή διαστασιολόγηση τους. Μπορεί επίσης να βοηθήσει στη μείωση των άσκοπων αλλαγών παραγγελιών του έργου και των τηλεφωνικών κλήσεων μέσω της ολοκληρωμένης ανάλυσης στοιχείων σχεδιασμού που έχει ορίσει η ομάδα.

Η BEM μπορεί να παράσχει την απαραίτητη τεκμηρίωση για την εξασφάλιση των οικονομικών κινήτρων που προσφέρει μέσω προγραμμάτων απόδοσης που υποστηρίζονται από χρησιμότητα [12].

#### **Μειωμένο κόστος λειτουργίας**

Η EMK μπορεί να μειώσει το ετήσιο κόστος λειτουργίας του κτιρίου υποστηρίζοντας τη σύγκριση του σχεδιασμού και ελέγχου που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας. Μπορεί ακόμα να συμβάλλει στην ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής, συμβάλλοντας στην επιλογή πιο ανθεκτικών και αποτελεσματικών υλικών, καθώς και συστημάτων που μπορεί να κοστίζουν περισσότερο εκ των προτέρων, αλλά θα εξοικονομήσουν περισσότερα χρήματα στην ενέργεια και την συντήρηση με την πάροδο του χρόνου [12].

### **Βελτιωμένη ικανοποίηση ατόμων**

Η ΕΜΚ μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό τρόπων για την επίτευξη πιο ευτυχισμένων, πιο παραγωγικών και πιο δημιουργικών υπαλλήλων. Η έρευνα έχει ποσοτικοποιήσει τη σχέση μεταξύ της βελτιωμένης ικανοποίησης των ενοίκων και της βελτίωσης του κελύφους του κτιρίου, τον σωστό εξαερισμό, τον φυσικό φωτισμό και τα μεμονωμένα στοιχεία ελέγχου. Η ΕΜΚ (BEM) παρέχει τους ποσοτικούς δείκτες που απαιτούνται για την επίτευξη μεγαλύτερης ικανοποίησης και άνεσης των ενοίκων [12].

## **2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ**

### **ΚΤΗΡΙΩΝ**

#### **2.1 Google SketchUp**

Όσον αφορά την σχεδίαση του κελύφους του κτηρίου, θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα Google SketchUp. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι της Google και αποτελεί ένα πρόγραμμα σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων σε υπολογιστή, για ένα μεγάλο εύρος σχεδίων, όπως για παράδειγμα αρχιτεκτονικό, μηχανολογικό, πολιτικό ή κάποιο σχέδιο εσωτερικής διακόσμησης, καθώς και για την σχεδίαση ενός τοπίου, ενός φίλμ ή ενός βιντεοπαιχνιδιού. Παρέχει επίσης μια ηλεκτρονική βιβλιοθήκη (3D Warehouse) έτοιμων μοντέλων (πχ παράθυρα, πόρτες, αυτοκινούμενα ή και ολόκληρα τρισδιάστατα μοντέλα κτιρίων), μέσω της οποίας μπορεί κάποιος σχεδιαστής να κατεβάσει δωρεάν και να χρησιμοποιήσει τα συγκεκριμένα μοντέλα, καθώς και να συνεισφέρει στην συγκεκριμένη βιβλιοθήκη, μεταφορτώνοντας μοντέλα που έχει δημιουργήσει αυτός και θέλει να μοιραστεί. Στο πρόγραμμα μπορούν να εγκατασταθούν κάποια plugin, με τα οποία μπορεί να επιτευχθεί η επικοινωνία του προγράμματος με άλλες εφαρμογές, καθώς και η δυνατότητα εκτέλεσης περισσότερων λειτουργιών, πέρα από τις βασικές που παρέχει η εφαρμογή στον χρήστη.

Οι ενέργειες που πραγματοποιηθούν για το συγκεκριμένο μοντέλο από το Google SketchUp είναι οι παρακάτω:

- Σχεδίαση κελύφους με βάση τις πραγματικές διαστάσεις του κτηρίου
- Σχεδίαση ανοιγμάτων και κουφωμάτων
- Σχεδίαση των επιφανειών σκιάσεως
- Ανάθεση ενός συγκεκριμένου τύπου χώρου σε κάθε χώρο του κτηρίου
- Δημιουργία θερμικών ζωνών
- Καθορισμός προσανατολισμού του κτηρίου (φώτο 3 διαστάσεις)

#### **2.2 Η μηχανή προσομοίωσης EnergyPlus**

Το EnergyPlus αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίων, το οποίο χρησιμοποιούν μηχανικοί, αρχιτέκτονες και ερευνητές για να



μοντελοποιήσουν τόσο την ενεργειακή κατανάλωση – για θέρμανση, ψύξη, αερισμό, φωτισμό και υπόλοιπα φορτία, όσο και την χρήση νερού στα κτήρια [18].

Η μηχανή ενεργειακής μοντελοποίησης EnergyPlus και είναι εκείνη που [21]:

- υλοποιεί τις εξισώσεις φυσικής σχετικά με την μεταφορά του αέρα, της υγρασίας και της θερμότητας μεταξύ των χώρων για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων θερμικής άνεσης
- υπολογίζει τα επίπεδα φωτισμού, σκίασης και τα αποτελέσματα της οπτικής άνεσης για κάθε χώρο χρησιμοποιώντας το λογισμικό Radiance
- υποστηρίζει ευέλικτη διαμόρφωση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού σε επίπεδο εξαρτημάτων
- προσομοιώνει sub-hourly timesteps ώστε να μπορεί να χειριστεί την γρήγορη δυναμική του συστήματος και τις στρατηγικές ελέγχου που θα χρησιμοποιηθούν από τον σχεδιαστή

Κάποια από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που διαθέτει είναι [18]:

- Ολοκληρωμένη, ταυτόχρονη λύση όσον αφορά τις συνθήκες της θερμικής ζώνης και της απόκρισης του συστήματος HVAC χωρίς την προϋπόθεση ότι το σύστημα HVAC μπορεί να ικανοποιήσει τα φορτία της ζώνης και να προσομοιώσει τους μη κλιματιζόμενους αλλά και τους υπο-κλιματιζόμενους χώρους
- Μοντελοποίηση των επιδράσεων ακτινοβολίας και των θερμοκρασιών που εμφανίζονται σε επιφάνειες θερμικών ζωνών καθώς και υπολογισμούς συμπίκνωσης
- Υπο-ωριαία, χρονικά βήματα καθορισμένα από το χρήστη για αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος, με αυτόματα μεταβαλλόμενα χρονικά βήματα για αλληλεπιδράσεις μεταξύ των θερμικών ζωνών και των συστημάτων HVAC. Αυτά επιτρέπουν στο EnergyPlus να μοντελοποιεί συστήματα με γρήγορη δυναμική ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει την ταχύτητα προσομοίωσης για ακρίβεια
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που αντιπροσωπεύει την κίνηση του αέρα μεταξύ των ζωνών
- Προηγμένα μοντέλα παραθύρωσης, συμπεριλαμβανομένων των ελεγχόμενων περσίδων παραθύρων, ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τα παράθυρα

- Υπολογισμοί φωτεινότητας και αντανάκλασης για αναφορά οπτικής άνεσης καθώς και έλεγχο αναλόγως με τον φωτισμό
- HVAC που βασίζεται σε εξαρτήματα και υποστηρίζει τόσο τυποποιημένες όσο και νέες διαμορφώσεις συστημάτων.
- Ένας μεγάλος αριθμός ενσωματωμένων HVAC και στρατηγικών ελέγχου φωτισμού και ένα επεκτάσιμο scripting σύστημα για έλεγχο από τον χρήστη.
- Λειτουργική εισαγωγή και εξαγωγή διεπαφής για συν-προσομοίωση με άλλους μηχανές λογισμικού
- Τυπικές αναλυτικές αναφορές εξόδου, καθώς και αναφορές που μπορούν να καθοριστούν από το χρήστη με δυνατότητα επιλογής χρόνου από ετήσια έως υπο-ωριαία, όλα με πολλαπλασιαστές πηγών ενέργειας

Το EnergyPlus είναι δωρεάν, ανοικτού κώδικα και cross-platform (τρέχει σε λειτουργικά συστήματα Windows, Mac OS X και Linux. Η ανάπτυξή του χρηματοδοτείται από το Γραφείο Τεχνολογιών Κτηρίων (Building Technologies Office - BTO) του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (Department of Energy - DOE). Μαζί με το OpenStudio, το EnergyPlus αποτελεί μέρος του χαρτοφυλακίου του προγράμματος Building Technologies Office το οποίο έχει ως σκοπό την ενεργειακή μοντελοποίηση των κτηρίων [18].

### 2.3 Η πλατφόρμα OpenStudio

Όσον αφορά την μοντελοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου θα χρησιμοποιηθεί η πλατφόρμα OpenStudio. Το OpenStudio αποτελεί επίσης μια cross-platform (Windows, Linux, Mac) συλλογή εργαλείων λογισμικού ανοιχτού κώδικα, η οποία έχει δημιουργηθεί από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (Department of Energy - DOE) σε συνεργασία με το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ (National Renewable Energy Laboratory - NREL) και έχει σκοπό την ενεργειακή μοντελοποίηση των κτηρίων [20]. Είναι το εργαλείο εκείνο που προσδίδει θερμοφυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά στην γεωμετρία του κτηρίου που δημιουργείται με το SketchUp και το ενσωματώνει με τα εσωτερικά συστήματα από τα οποία αποτελείται, με σκοπό τον υπολογισμό των ενεργειακών του αναγκών λαμβάνοντας υπόψιν έναν μεγάλο αριθμό παραμέτρων, μέσω της προσομοίωσης του.

Το OpenStudio στοχεύει [22]:

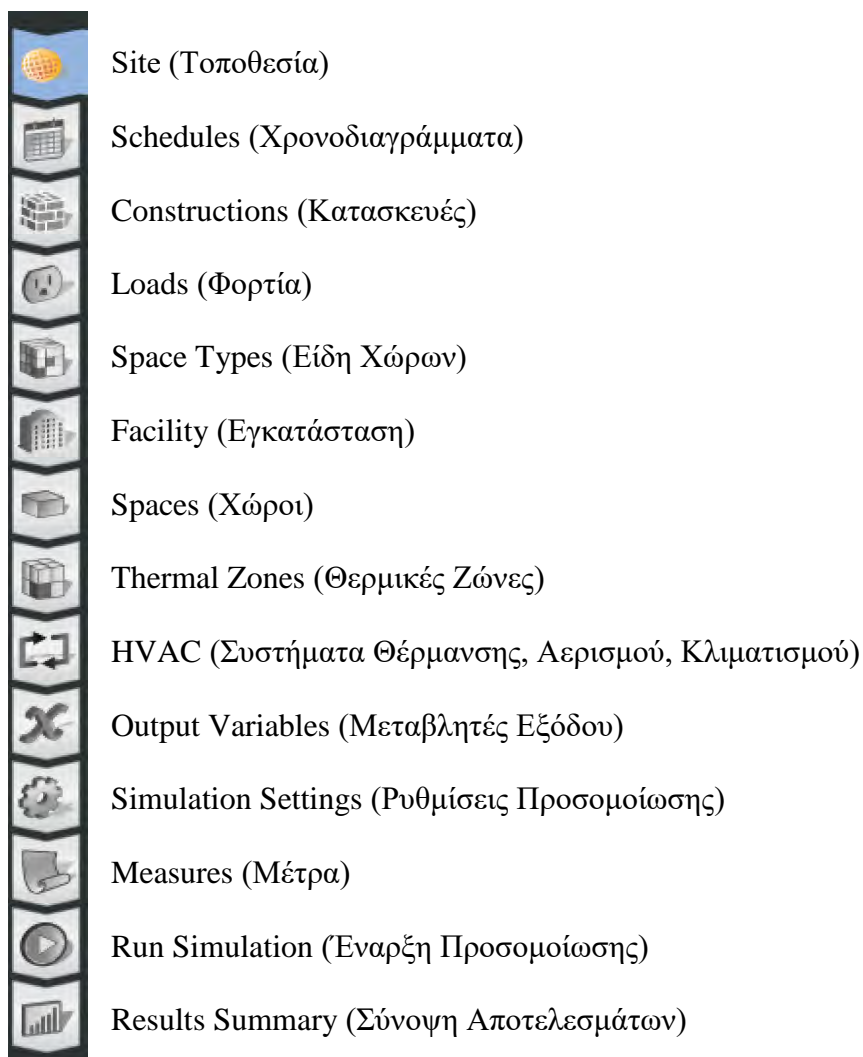
- να μειώσει δραματικά την προσπάθεια που απαιτείται όσον αφορά την δημιουργία και την διατήρηση εφαρμογών οι οποίες χρησιμοποιούν ΕΜΚ
- να διευρύνει και να υποστηρίζει το οικοσύστημα εργαλείων και υπηρεσιών ΕΜΚ τελικών χρηστών

Κάποια από τα παραδείγματα εφαρμογών που περιλαμβάνει είναι:

- ένα plugin για το σχεδιαστικό πρόγραμμα Google SketchUp
- μια γραφική εφαρμογή επεξεργασίας του μοντέλου
- παράθυρο αποτελεσμάτων
- εργαλείο παραμετρικής ανάλυσης

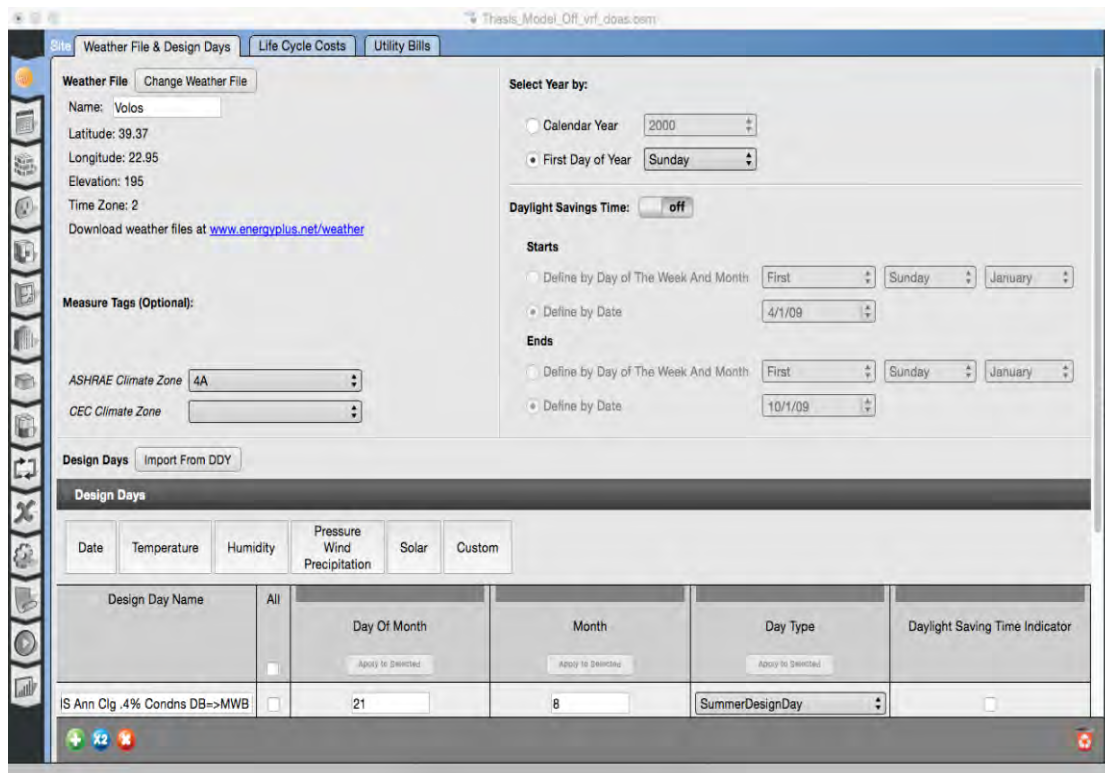
## 2.4 Παράμετροι εισόδου στην πλατφόρμα OpenStudio

Εστιάζοντας στην δομή της γραφικής διεπαφής του OpenStudio η παρακάτω εικόνα δείχνει τις βασικές καρτέλες στις οποίες εισάγονται τα δεδομένα είσοδου του μοντέλου:



## Site (Τοποθεσία)

Στην πρώτη υποκαρτέλα (Weather File & Design Days) ο χρήστης καλείται να ορίσει ένα αρχείο καιρού σε μορφή (epw) καθώς και ένα αρχείο σχεδιαστικών ημερών σε μορφή (ddy). Ένα αρχείο καιρού περιέχει ένα τυπικό ημερολογιακό χρόνο (Typical Meteorological Year - TMY), στο οποίο περιέχονται τιμές θερμοκρασίας. Ωστόσο, η θερμοκρασία είναι ένας διαφορετικός συνδυασμός των σχετικών τιμών της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας ξηρού και υγρού βολβού, καθώς και της έντασης και της κατεύθυνσης του ανέμου. Ένα αρχείο σχεδιαστικών ημερών περιέχει Σχεδιαστικές Μετεωρολογικές Ημέρες (Design Meteorological Days - DMD), οι οποίες αποτελούν κάποιες μέρες του ημερολογιακού χρόνου, όπου οι σχετικές παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι οποίες επηρεάζουν την τελική τιμή της θερμοκρασίας, παρουσιάζουν μέγιστες τιμές, επηρεάζοντας επομένως τις συνθήκες άνεσης μέσα στο κτήριο. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένες μέρες, είναι για την διαστασιολόγηση των αντίστοιχων θερμικών ζωνών και του συστήματος θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού, σε συνθήκες που προσεγγίζουν ακραία καιρικά φαινόμενα και πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την αποφυγή της υποδιαστασιολόγησης του συστήματος [14].

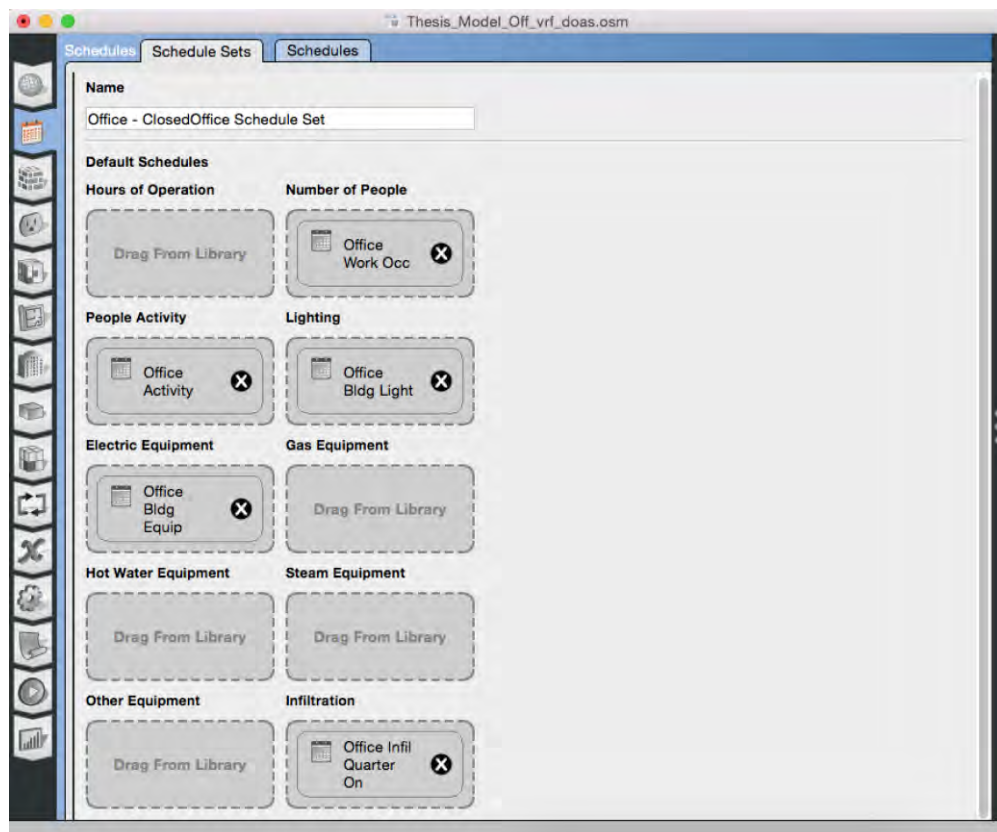


ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ OPENSTUDIO ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗΝ SITE TAB

## Schedules (Χρονοδιαγράμματα)

Στην καρτέλα Schedules ο χρήστης ορίζει τα Σέτ Χρονοδιαγραμμάτων (Schedule Sets) και τα Χρονοδιαγράμματα (Schedules). Τα Schedules είναι χρονοδιαγράμματα υπό μορφή γραφικών παραστάσεων, τα οποία ορίζουν το χρόνο και την ένταση που θα πραγματοποιηθούν οι παρακάτω δραστηριότητες:

- Hours of Operation (Ώρες Λειτουργίας)
- Number of People (Αριθμός Ατόμων)
- People Activity (Δραστηριότητα Ατόμων)
- Lighting (Φωτισμός)
- Ηλεκτρικός Εξοπλισμός (Electric Equipment)
- Εξοπλισμός Φυσικού Αερίου (Gas Equipment)
- Hot Water Equipment (Εξοπλισμός Ζεστού Νερού)
- Steam Equipment (Εξοπλισμός Ατμού)
- Άλλος Εξοπλισμός (Other Equipment)
- Φιλτράρισμα (Infiltration)

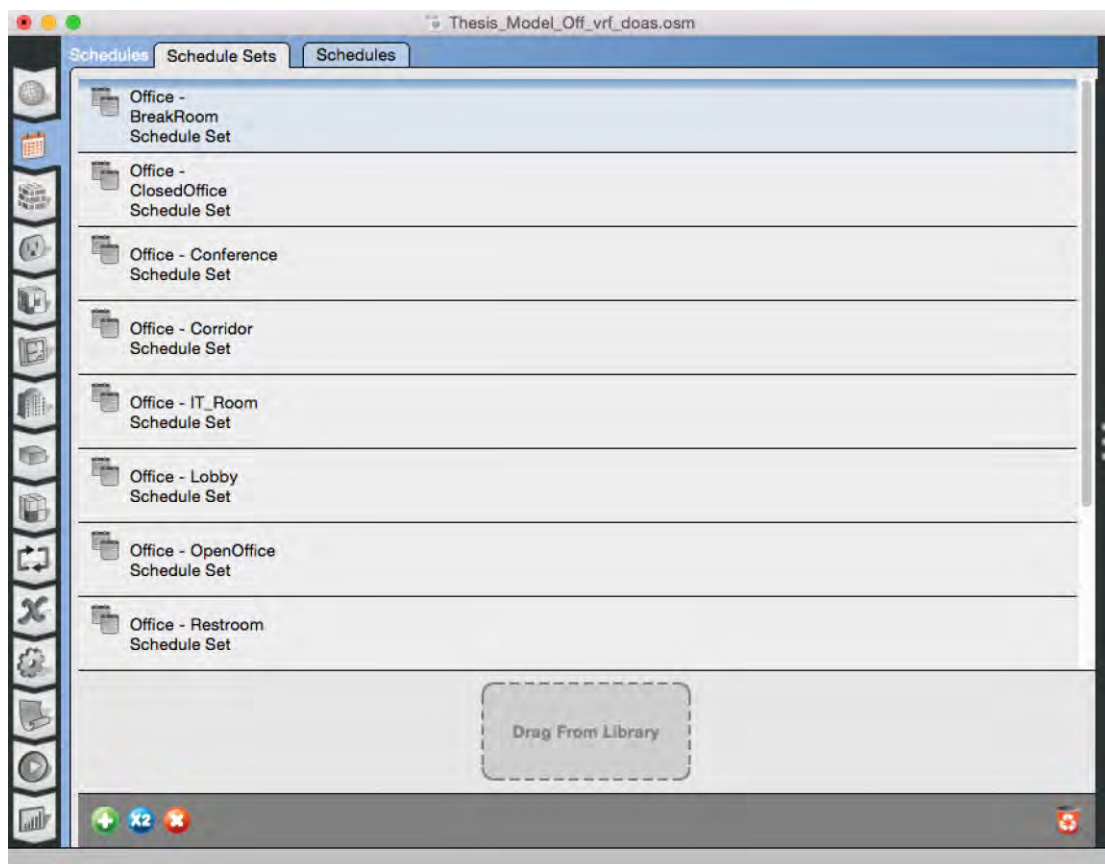


ΕΙΚΟΝΑ 3: ΤΟ ΣΕΤ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΝΟΣ ΤΥΠΟΥ ΧΩΡΟΥ

Στην παραπάνω εικόνα αναπαρίσταται το Schedule Set του τύπου χώρου Closed Office, καθώς και τα χρονοδιαγράμματα που έχουν ανατεθεί στον συγκεκριμένο τύπο χώρου.

Για καλύτερη κατανόηση αναφέρεται ότι κάποια χρονοδιαγράμματα μπορεί να είναι οι ώρες λειτουργίας φωτισμού μιας αίθουσας, η προσέλευση των ατόμων σε έναν χώρο για συγκεκριμένες ώρες/ημέρα και μέρες, οι ώρες λειτουργίας και η ένταση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού ενός χώρου κλπ.

Τα Schedule Sets (Σέτ Χρονοδιαγραμμάτων) αποτελούν μια ομάδα χρονοδιαγραμμάτων, τα οποία έχουν ανατεθεί σε ένα συγκεκριμένο τύπο χώρου.



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΤΑ ΣΕΤ ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι το χρονοδιάγραμμα ενός χώρου μπορεί να διαφέρει μερικές μέρες και να διαθέτει διαφορετικά προφίλ (ανάλογα με τις διαφορετικές προτεραιότητες που επιθυμεί ο χρήστης π.χ. προτεραιότητα 1: Δευτέρα-Παρασκευή, προτεραιότητα 2: Σάββατο, προτεραιότητα 3: Κυριακή). Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται τα χρονοδιαγράμματα για τον τύπο χώρου Closed Office. Οι τιμές στον άξονα y είναι κλασματικές και παριστάνουν το ποσοστό επί του συνολικού αριθμού ατόμων του συγκεκριμένου τύπου χώρου και οι τιμές στον άξονα x είναι οι ώρες της ημέρας.

### **Constructions (Κατασκευές)**

Στη συγκεκριμένη καρτέλα υπάρχουν τρεις υποκαρτέλες με τα ονόματα Construction Sets (Σετ Κατασκευών), Constructions (Κατασκευές) και Materials (Υλικά). Στην υποκαρτέλα Materials (Υλικά) ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ή να προσθέσει από την βιβλιοθήκη υλικά με συγκεκριμένες θερμοφυσικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές, όπως για παράδειγμα ξύλο, στόκος, τσιμέντο κλπ. Στην υποκαρτέλα Constructions (Κατασκευές) ο χρήστης δημιουργεί κατασκευές οι οποίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα στρώματα υλικών από έξω προς τα μέσα, όπως για παράδειγμα, ένας τοίχος μπορεί να αποτελείται από στόκο, τούβλο, τσιμεντοκονίαμα και χρώμα. Στην υποκαρτέλα Construction Sets (Σετ Κατασκευών), ο χρήστης ορίζει ομάδες κατασκευών για διάφορους τύπους επιφανειών.

### **Loads (Φορτία)**

Στην συγκεκριμένη καρτέλα ο χρήστης ορίζει τα εσωτερικά φορτία κάθε χώρου, τα οποία χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- People (Πλήθος ατόμων)
- Lights (Εξοπλισμός φωτισμού)
- Luminaire (Εξοπλισμός φωτισμού)
- Electric Equipment (Ηλεκτρικός Εξοπλισμός)
- Gas Equipment (Εξοπλισμός φυσικού αερίου)
- Steam Equipment (Εξοπλισμός ατμού)
- Other Equipment (Άλλος εξοπλισμός)
- Internal Mass (Μάζα αποθήκευσης εσωτερικής/θερμικής ενέργειας)
- Water Use Equipment (Εξοπλισμός χρήσης νερού)

Αξίζει να αναφερθεί, ότι το πλήθος ατόμων ανήκει στα φορτία διότι εκλύει θερμότητα στο περιβάλλον και ανάγεται στα εσωτερικά λανθάνοντα φορτία ή αλλιώς εσωτερικά θερμικά κέρδη. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι οι επιλογές Lights και Luminaires έχουν προστεθεί από τους προγραμματιστές για διαφορετική λειτουργικότητα, αλλά δεν έχει υλοποιηθεί στις έως τώρα εκδόσεις του λογισμικού, επομένως για το συγκεκριμένο μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί μόνο η επιλογή των Lights. Όσον αφορά την μάζα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, αποτελεί ένα διαφορετικό τύπο από τα άλλα φορτία διότι δεν καταναλώνει κάποιο καύσιμο, ούτε ηλεκτρισμό αλλά αποθηκεύει θερμότητα την οποία εκλύει στο περιβάλλον με κάποιο ρυθμό. Ο εξοπλισμός νερού χρήσης αποτελεί επίσης ένα διαφορετικό τύπο, διότι του

ανατίθεται κάποιο χρονοδιάγραμμα και δεν αποτελεί μέρος κάποιου τύπου χώρου αλλά μέρος του συστήματος θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού.

Στο μοντέλο προσομοίωσης οι τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί όσον αφορά την ισχύ για την στάθμη φωτισμού ( $W/m^2$ ), την θερμική ισχύ ανά άτομο ( $W/άτομο$ ), την ισχύ εξοπλισμού του κτηρίου καθώς και τον απαιτούμενο νωπό αέρα ( $m^3/h/άτομο$ ) για κάθε χώρο έχουν ληφθεί βάσει του κανονισμού KENAK και συγκεκριμένα την Τεχνική Οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (TOTE 20701-/2010) [16].

### **Space Types (Είδη Χώρων)**

Στην συγκεκριμένη καρτέλα ορίζονται οι τύποι χώρων που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο πρός προσομοίωση και στους οποίους μπορούν να προστεθούν προκαθορισμένα σέτ κατασκευών, σέτ χρονοδιαγραμμάτων, απαιτήσεις αερισμού και φιλτραρίσματος αέρα καθώς και τα αντίστοιχα φορτία. Όταν ο χρήστης αναθέτει σε έναν χώρο κάποιο τύπο χώρου, τότε ο χώρος κληρονομεί όλες τα προκαθορισμένα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τύπου.

### **Facility (Εγκατάσταση)**

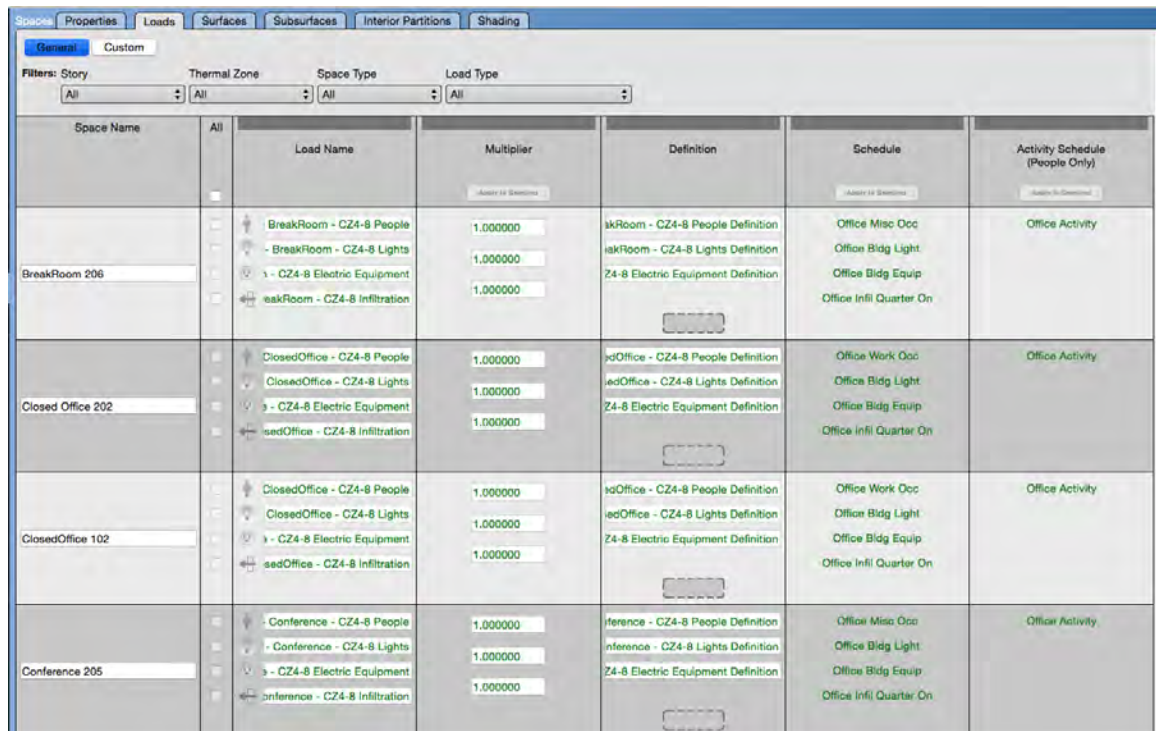
Η συγκεκριμένη καρτέλα διαθέτει 4 υποκαρτέλες, την Building (Κτίριο), Stories (Όροφοι), Shading (Σκίαση), Exterior Equipment (Εξωτερικός Εξοπλισμός). Στην υποκαρτέλα του κτιρίου μπορεί να οριστεί ο ο προσανατολισμός του κτιρίου ως προς τον βορρά καθώς και προκαθορισμένα σέτ κατασκευής και χρονοδιαγραμμάτων για το συνολικό συγκρότημα του κτιρίου. Επίσης, μπορούν προαιρετικά να οριστούν ο τύπος κτιρίου (ο χρήστης επιλέγει από μια ομάδα προκαθορισμένων τύπων), καθώς και τα ονομαστικά ύψη από όροφο σε όροφο και από όροφος έως την οροφή. Στην υποκαρτέλα των ορόφων μπορεί ο χρήστης να προσθέσει και να τροποποιήσει τις κατασκευές και τα χρονοδιαγράμματα ανά όροφο. Στην υποκαρτέλα Shading (Σκίαση) ο χρήστης μπορεί να δει τις επιφάνειες σκιάσεως που έχουν δημιουργηθεί στο μοντέλο με την χρήση του προγράμματος SketchUp. Στην υποκαρτέλα του εξωτερικού εξοπλισμού, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει τα στοιχεία για τον εξωτερικό φωτισμό του κτιρίου.

### **Spaces (Χώροι)**

Στην συγκεκριμένη καρτέλα απεικονίζονται όλοι οι χώροι του κτηρίου. Υπάρχουν 6 υποκαρτέλες με τα αντίστοιχα ονόματα, Properties (Ιδιότητες), Loads (Φορτία), Surfaces (Επιφάνειες), Subsurfaces (Υποεπιφάνειες), Interior Partitions (Εσωτερικές



Διαμερίσεις), Shading (Σκίαση) και ανάλογα σε ποιά υποκαρτέλα βρίσκεται ο χρήστης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, μπορεί να δει και τις αντίστοιχες πληροφορίες. Για παράδειγμα στην υποκαρτέλα Properties, εμφανίζεται ο όροφος στον οποίο ανήκει ο κάθε χώρος, η θερμική ζώνη στην οποία ανήκει, ο τύπος χώρου που του έχει ανατεθεί, το αντίστοιχο προκαθορισμένο σέτ κατασκευής (Construction Set) και χρονοδιάγραμμα καθώς και μια επιλογή για το αν αποτελεί ή όχι μέρος της συνολικής επιφάνειας δαπέδου. Στην δεύτερη υποκαρτέλα (Loads), εμφανίζονται τα φορτία που έχουν ανατεθεί σε κάθε χώρο, ένας πολλαπλασιαστής για κάθε ένα από αυτά τα φορτία καθώς και τα αντίστοιχα χρονοδιαγράμματα τους. Στην υποκαρτέλα Surfaces εμφανίζονται οι επιφάνειες από τις οποίες αποτελείται κάθε χώρος, ο τύπος (πάτωμα, τοίχος, οροφή) κάθε επιφάνειας, η αντίστοιχη κατασκευή της, η εκτός συνόρων επιφάνεια με την οποία είναι συνδεδεμένη (αν υπάρχει) καθώς και αν οι συγκεκριμένες επιφάνειες εκτίθενται σε ήλιο ή αέρα. Στην υποκαρτέλα Subsurfaces εμφανίζονται οι υποεπιφάνειες που βρίσκονται πάνω σε επιφάνειες κάθε χώρου, ο τύπος της κάθε υποεπιφάνειας (πόρτα, παράθυρο, φεγγίτης) ένας πολλαπλασιαστής και η αντίστοιχη κατασκευή της. Στην υποκαρτέλα (Interior Partitions) εμφανίζονται οι εσωτερικές διαμερίσεις κάθε χώρου αν υπάρχουν. Στην υποκαρτέλα Shading εμφανίζονται οι επιφάνειες σκίασεως που υπάρχουν σε κάθε χώρο, αν αυτές υπάρχουν.



Space Name	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
BreakRoom 206	BreakRoom - CZ4-8 People	1.000000	akRoom - CZ4-8 People Definition	Office Misc Occ	Office Activity
	BreakRoom - CZ4-8 Lights	1.000000	akRoom - CZ4-8 Lights Definition	Office Bldg Light	
	1 - CZ4-8 Electric Equipment	1.000000	Z4-8 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	BreakRoom - CZ4-8 Infiltration	1.000000		Office Infil Quarter On	
Closed Office 202	ClosedOffice - CZ4-8 People	1.000000	edOffice - CZ4-8 People Definition	Office Work Occ	Office Activity
	ClosedOffice - CZ4-8 Lights	1.000000	edOffice - CZ4-8 Lights Definition	Office Bldg Light	
	3 - CZ4-8 Electric Equipment	1.000000	Z4-8 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	ClosedOffice - CZ4-8 Infiltration	1.000000		Office Infil Quarter On	
ClosedOffice 102	ClosedOffice - CZ4-8 People	1.000000	edOffice - CZ4-8 People Definition	Office Work Occ	Office Activity
	ClosedOffice - CZ4-8 Lights	1.000000	edOffice - CZ4-8 Lights Definition	Office Bldg Light	
	3 - CZ4-8 Electric Equipment	1.000000	Z4-8 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	ClosedOffice - CZ4-8 Infiltration	1.000000		Office Infil Quarter On	
Conference 205	Conference - CZ4-8 People	1.000000	ference - CZ4-8 People Definition	Office Misc Occ	Office Activity
	Conference - CZ4-8 Lights	1.000000	ference - CZ4-8 Lights Definition	Office Bldg Light	
	3 - CZ4-8 Electric Equipment	1.000000	Z4-8 Electric Equipment Definition	Office Bldg Equip	
	Conference - CZ4-8 Infiltration	1.000000		Office Infil Quarter On	

ΕΙΚΟΝΑ 5: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΤΟΥ OPENSTUDIO ΜΕ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΠΟΙΩΝ ΧΩΡΩΝ

### **Thermal Zones (Θερμικές Ζώνες)**

Στην συγκεκριμένη καρτέλα ο χρήστης μπορεί να δει τις θερμικές ζώνες που έχει δημιουργήσει ο χρήστης μέσω του προγράμματος SketchUp χρησιμοποιώντας το OpenStudio plugin. Μια θερμική ζώνη αποτελείται από έναν ή μια ομάδα χώρων, οι οποίοι έχουν ίδιες απαιτήσεις σχετικά με τις συνθήκες κατάστασης σε έναν χώρο καθώς και τα ίδια σημεία ρύθμισης θέρμανσης και ψύξης [17]. Στην υποκαρτέλα HVAC Systems φαίνονται το όνομα της μονάδας διαχείρισης αέρα στην οποία ανήκει κάθε θερμική ζώνη, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιεί, τα χρονοδιαγράμματα θερμοστατών ψύξης και θέρμανσης, καθώς και τα χρονοδιαγράμματα ύγρανσης και αφύγρανσης κάθε θερμικής ζώνης. Στις επόμενες 2 υποκαρτέλες (Cooling & Heating Sizing Parameters) εμφανίζονται κάποιες παράμετροι ψύξης και θέρμανσης για κάθε θερμική ζώνη.

### **HVAC (Συστήματα Θέρμανσης, Αερισμού, Κλιματισμού)**

Η συγκεκριμένη καρτέλα χρησιμοποιείται για την δημιουργία, τον έλεγχο και την τροποποίηση των αντίστοιχων συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού.

### **Output Variables (Μεταβλητές Εξόδου)**

Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης μπορεί να ορίσει κάποιες μεταβλητές τα αποτελέσματα των οποίων επιθυμεί να του επιστρέψει το πρόγραμμα μετά την προσομοίωση. Μπορεί επίσης να επιλέξει και την συχνότητα με την οποία επιθυμεί να υπολογίζονται οι συγκεκριμένες μεταβλητές.

### **Simulation Settings (Ρυθμίσεις Προσομοίωσης)**

Στην συγκεκριμένη καρτέλα ο χρήστης μπορεί να παραμετροποιήσει κάποιες εξειδικευμένες ρυθμίσεις όσον αφορά την προσομοίωση του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί.

### **Μέτρα (Measures)**

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που κάνει το OpenStudio να διαφέρει είναι η έννοια των Measures (μέτρα), προγράμματα μικρής έκτασης τα οποία μπορούν να μετασχηματίσουν ένα μοντέλο ή να κατασκευάσουν ένα καινούριο. Τα μέτρα – τα οποία ονομάζονται έτσι επειδή πολλά από αυτά αντιστοιχούν σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας (Energy Consumption Measures – ECM) – μπορούν να κάνουν αλλαγές στο υπάρχον μοντέλο, τόσο απλές όπως για παράδειγμα να αλλάξουν τα επίπεδα μόνωσης σε μια επιφάνεια ή τόσο πολύπλοκες όσο να αναδιαμορφώσουν

την παραθύρωση, την σκίαση ή και τον έλεγχο αυτών ώστε να βελτιστοποιηθούν τα επίπεδα φυσικού φωτισμού. Επίσης, είναι “ελαφριά” όσον αφορά τον χρόνο και τους πόρους που χρησιμοποιούν, εύκολα να τα δημιουργήσει και να τα τροποποιήσει κάποιος και παρέχουν έναν τρόπο εξατομίκευσης της πλατφόρμας OpenStudio και των δυνατοτήτων της, χωρίς την ανάγκη τροποποίησης του κορμού του κίτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK) [22]. Στην συγκεκριμένη καρτέλα ο χρήστης μπορεί να προσθέσει κάποια μέτρα δημιουργημένα από τον ίδιο ή κατεβασμένα από την βιβλιοθήκη (Building Component Library – BCL) που διαθέτει το OpenStudio. Υπάρχουν τρεις τύποι μέτρων [22]:

- OpenStudio Measures, τα οποία τρέχουν στο osm μοντέλο πριν μετατραπεί σε αρχείο idf
- EnergyPlus Measures, τα οποία τρέχουν στο idf αρχείο πριν γίνει η προσομοίωση στο EnergyPlus
- Reporting Measures, τα οποία παράγουν αναφορές στην καταγραφή των αποτελεσμάτων και παρέχουν διασφάλιση ποιότητας και ποιοτικό έλεγχο στο μοντέλο

### **Run Simulation (Εναρξη Προσομοίωσης)**

Σε αυτή την καρτέλα γίνεται η έναρξη της προσομοίωσης του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί.

### **Results Summary (Σύνοψη Αποτελεσμάτων)**

Σε αυτή την καρτέλα εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα στα αποτελέσματα του OpenStudio ή του EnergyPlus.

### **Building Component Library (BCL)**

Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη αποτελεί μια online αποθήκη, όπου ο καθένας μπορεί να κατεβάσει δωρεάν εξαρτήματα, υλικά καθώς και μέτρα που έχουν υλοποιηθεί από άλλους προγραμματιστές.

### **3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

## **ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ (VARIABLE REFRIGERANT FLUID - VRF)**

Στο συγκεκριμένο, μοντέλο το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση, το αερισμό και τον κλιματισμό του κτηρίου είναι το σύστημα μεταβαλλόμενης ροής ψυκτικού μέσου (variable refrigerant flow – VRF).

### **3.1 Περιγραφή Συστήματος VRF**

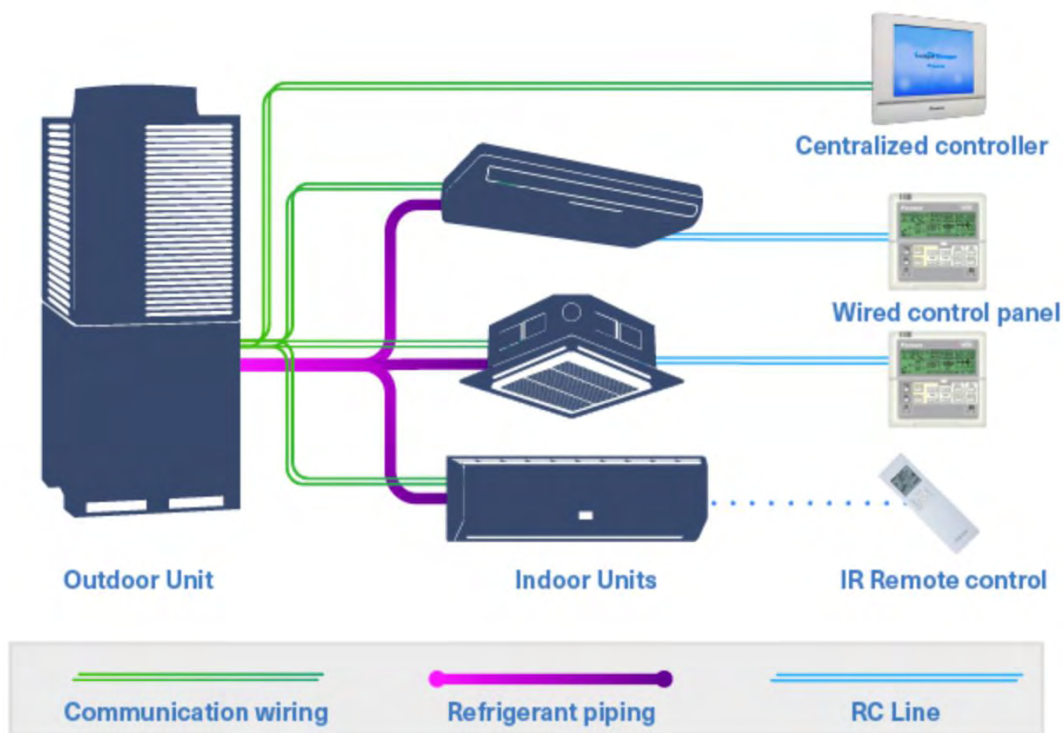
Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελεί ένα πολύ εξελιγμένο τεχνολογικό σύστημα κλιματισμού, βασισμένο στις παρακάτω αρχές [15]:

- Χρησιμοποιεί μόνο ψυκτικό - όπου το ψυκτικό μέσο είναι το μοναδικό ψυκτικό υλικό στο σύστημα (σε αντίθεση με τα συστήματα κρύου νερού, όπου το ψυκτικό χρησιμοποιείται για την ψύξη / θέρμανση του νερού που κυκλοφορεί σε όλο το σύστημα)
- Συμπιεστές με αντιστροφέα (inverter) που επιτρέπουν τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με μερικά φορτία ψύξης / θέρμανσης.
- Πολλοί χειριστές αέρα (εσωτερικές μονάδες) στον ίδιο βρόχο/κύκλωμα ψυκτικού
- Δυνατότητα επέκτασης (ισχύει ιδιαίτερα για μεγάλα έργα, τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν σταδιακά)

### **3.2 Τυπική δομή συστήματος VRF**

Ένα τυπικό σύστημα αποτελείται από [15]:

- μια εξωτερική μονάδα (που αποτελείται από έναν ή πολλούς συμπιεστές)
- από πολλές εσωτερικές μονάδες (συχνά ονομαζόμενες ως "fan coils")
- τις σωληνώσεις ψυκτικού μέσου, που εκτείνονται από το εξωτερικό σε όλους τους εσωτερικούς χώρους χρησιμοποιώντας συνδέσμους Refnet (διανομείς χαλκού στους σωλήνες)
- και την καλωδίωση επικοινωνίας



ΕΙΚΟΝΑ 6: ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ VRF [15]

### 3.3 Συνδεσιμότητα VRF

Η καλωδίωση επικοινωνίας αποτελείται από ένα καλώδιο το οποίο αποτελεί την ένωση 2 καλωδίων, από το εξωτερικό σε όλους τους εσωτερικούς χώρους, δημιουργώντας ένα εσωτερικό δίκτυο κλειστού βρόχου, το οποίο αποτελεί ουσιαστικό μέρος κάθε εγκατάστασης VRF. Όσο για τον έλεγχο, κάθε εσωτερικός χώρος ελέγχεται από τον δικό του ενσύρματο πίνακα ελέγχου, ενώ υπάρχουν κάποιες δυνατότητες για ασύρματα τηλεχειριστήρια (IR) και κεντρικούς ελεγκτές, επιτρέποντας τον έλεγχο όλων των εσωτερικών χώρων από μία θέση [15].

### 3.4 Ο τρόπος λειτουργίας του VRF:

Η λογική λειτουργίας του VRF είναι πλήρως ενσωματωμένη στο εσωτερικό του συστήματος και είναι ξεχωριστή για κάθε εταιρεία-κατασκευαστή VRF. Το σύστημα λαμβάνει εισόδους από τον χρήστη (π.χ. επιθυμητή θερμοκρασία εσωτερικών συνθηκών) και από το περιβάλλον (εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος) και σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά κάνει κάποιους υπολογισμούς προκειμένου να φτάσει στις επιθυμητές συνθήκες άνεσης, χρησιμοποιώντας βέλτιστη κατανάλωση ενέργειας. Η ικανότητα προσαρμογής στις εξωτερικές συνθήκες είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που καθιστούν τα συστήματα VRF τόσο αποτελεσματικά, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα ψύξης νερού, που βασίζονται σε ψύκτες και

ανεμιστήρες [15]. Παρακάτω δίνεται ένα πιο λεπτομερειακό παράδειγμα σχετικά με το πώς λειτουργεί ένα τέτοιο σύστημα. Υποθέτουμε ένα σύστημα μιας τυπικής εγκατάστασης VRF, με μία εξωτερική μονάδα και πολλαπλές εσωτερικές μονάδες σε πάνω από έναν χώρο.

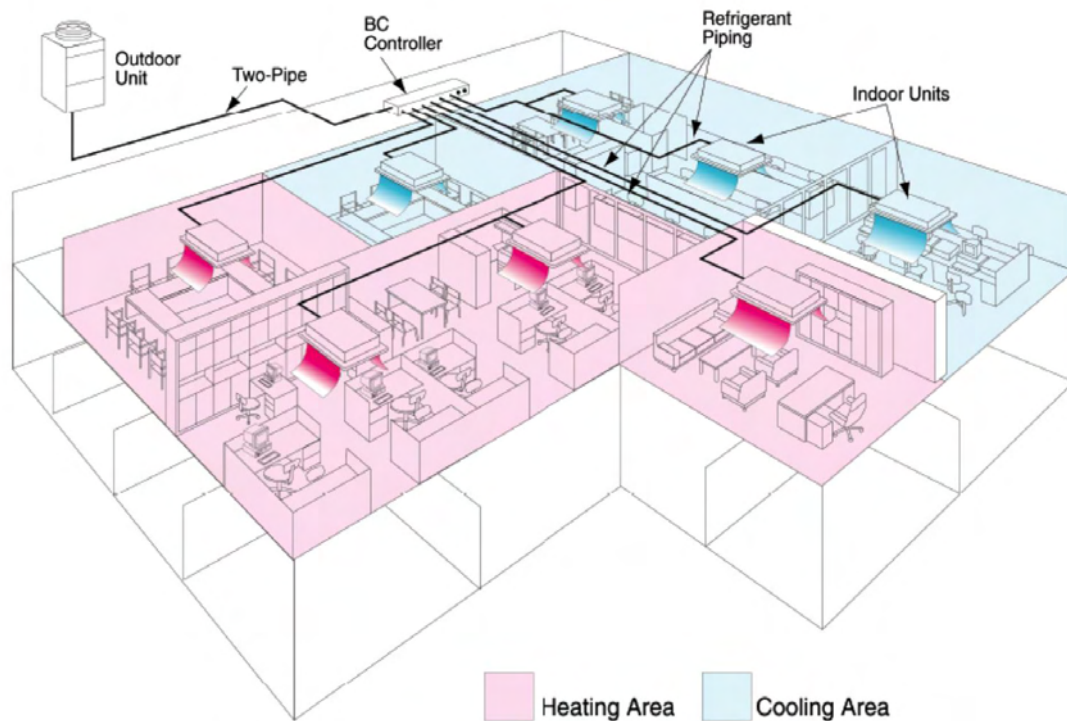
Αρχικά, το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής (όλα είναι απενεργοποιημένα). Μόλις ένας χρήστης γυρίσει ένα από τα εσωτερικά "ON" από το τοπικό του τηλεχειριστήριο, η εξωτερική μονάδα "ειδοποιείται" και αρχίζει να λειτουργεί. Σε αυτό το σημείο, θα εξετάσει τις συνθήκες εξωτερικού χώρου (θερμοκρασία), τις εσωτερικές απαιτήσεις λειτουργίας (κατάσταση λειτουργίας, θερμοκρασία θερμοστάτη) και θα ρυθμίσει τον συμπιεστή στο ακριβές επίπεδο που απαιτείται για να πετύχει τις εσωτερικές απαιτήσεις. Όταν μια άλλη εσωτερική μονάδα ενεργοποιείται, η εξωτερική μονάδα υπολογίζει εκ νέου τις απαιτήσεις όλων των εσωτερικών χώρων και αυξάνει την απόδοση του συμπιεστή, σύμφωνα με το απαιτούμενο επίπεδο ζήτησης. Η συγκεκριμένη διαδικασία υλοποιείται εκ νέου σε οποιαδήποτε αλλαγή που πραγματοποιείται στο σύστημα. Όπως περιγράφεται, το σύστημα VRF είναι πλήρως αυτόματο και ρυθμίζει την κατανάλωση ρεύματος με βάση τη ζήτηση που προέρχεται από τις εσωτερικές μονάδες και τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν. Ο χρήστης μπορεί να επηρεάσει τις επιθυμητές συνθήκες άνεσης εσωτερικού χώρου, αλλάζοντας: Κατάσταση λειτουργίας (on / off), τρόπο λειτουργίας (Cool / Heat / Fan / Dry / Auto), θερμοκρασία θερμοστάτη, ταχύτητα ανεμιστήρα (υψηλή / μέση / χαμηλή / αυτόματα). Ο έλεγχος αυτών των παραμέτρων είναι το μόνο πράγμα που απαιτείται για την σωστή λειτουργία και το μόνο που απαιτείται για την σωστή ενσωμάτωση στο σύστημα VRF [15].

### 3.5 Τύποι συστημάτων VRF

Υπάρχουν 3 τύποι των συγκεκριμένων συστημάτων, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω [15]:

- Μόνο σύστημα ψύξης - αυτά τα συστήματα παρέχουν μόνο ψύξη. Η θέρμανση δεν είναι διαθέσιμη. Οι λειτουργίες ανεμιστήρα και ξηρού κλίματος είναι διαθέσιμες για κάθε εσωτερική μονάδα ανεξάρτητα.
- Συστήματα αντλιών θερμότητας - όλες οι εσωτερικές μονάδες μπορούν να παρέχουν ψύξη ή θέρμανση αλλά όχι ταυτόχρονα και τις 2 καταστάσεις. Οι λειτουργίες ανεμιστήρα και ξηρού κλίματος είναι διαθέσιμες για κάθε εσωτερική μονάδα ανεξάρτητα.

- Συστήματα ανάκτησης θερμότητας - αυτά τα συστήματα είναι τα πιο εξελιγμένα, όπου η ψύξη και η θέρμανση μπορούν να διατίθενται από κάθε εσωτερική μονάδα, ανεξάρτητα αλλά και ταυτόχρονα



ΕΙΚΟΝΑ 7: ΣΥΣΤΗΜΑ VRF ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ [19]



## 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ OPENSTUDIO

#### 4.1 Χαρακτηριστικά Κτηρίου

Το κτήριο υπό μελέτη αποτελείται από 2 ορόφους, βρίσκεται στην τοποθεσία της πόλης του Βόλου και σε υψόμετρο 5 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Πρόκειται για ένα κτήριο το οποίο θα στεγάζει χώρους γραφείων και η έκταση του ορίζεται στα 1960 τ.μ.

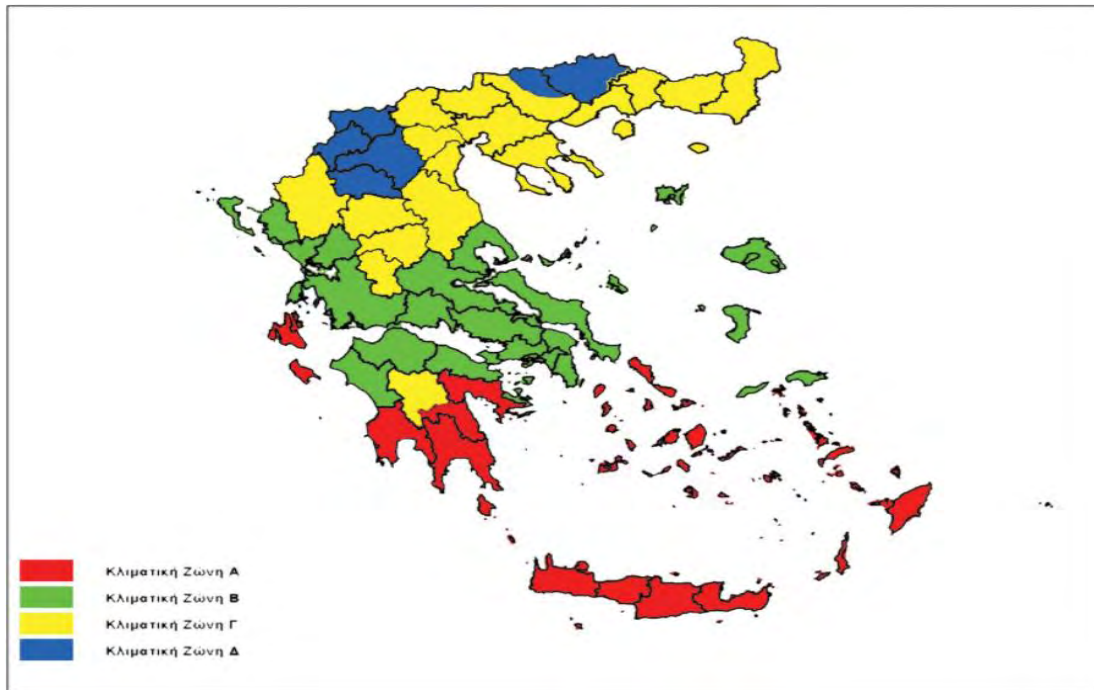
#### Κλιματικά Δεδομένα

Κοιτώντας τον χάρτη των κλιματικών ζωνών της Ελλάδας από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. [16], το συγκεκριμένο κτήριο ανάγεται στο Ν. Μαγνησίας και επομένως ανήκει στην κλιματική ζώνη Β.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
<b>ΖΩΝΗ Α</b>	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
<b>ΖΩΝΗ Β</b>	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
<b>ΖΩΝΗ Γ</b>	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
<b>ΖΩΝΗ Δ</b>	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

ΕΙΚΟΝΑ 8: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΤΑ ΝΟΜΟΥΣ [16]

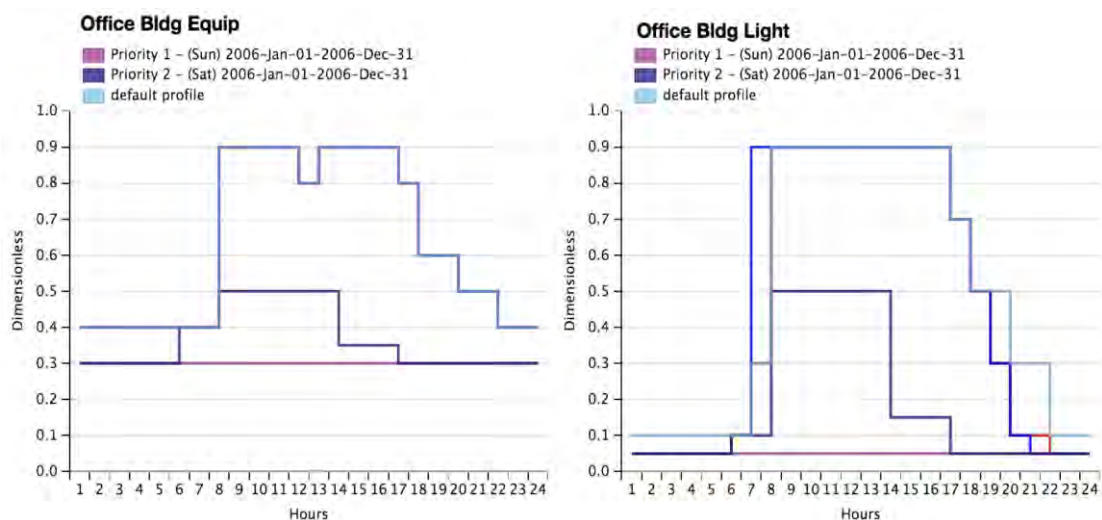




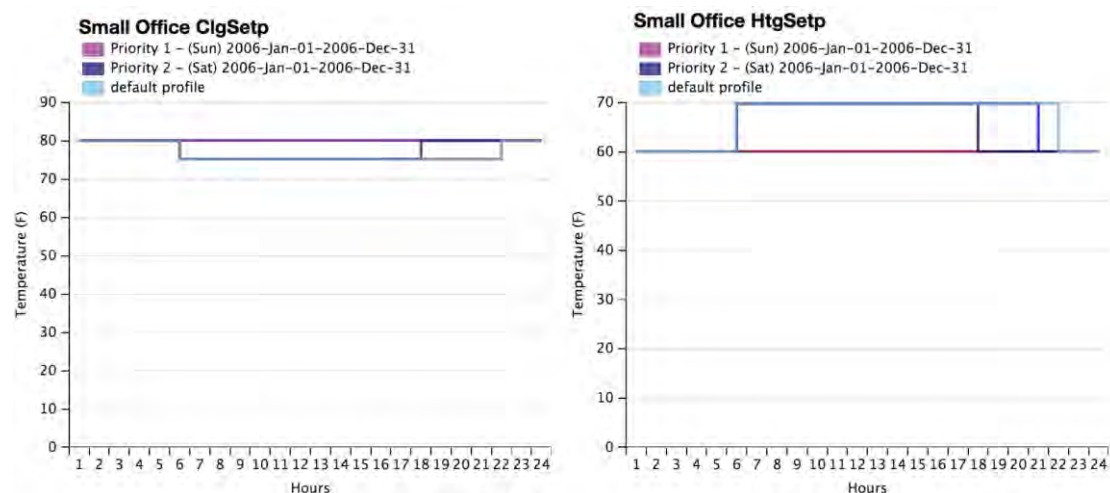
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑΣ [16]

## Χρονοδιαγράμματα

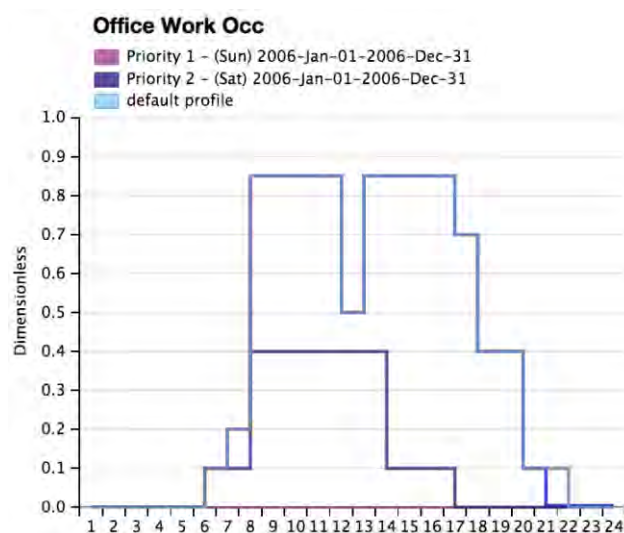
Παρακάτω παρουσιάζονται στιγμιότυπα του λογισμικού OpenStudio στα οποία απεικονίζονται τα χρονοδιαγράμματα, ηλεκτρικού εξοπλισμού, φωτισμού, της ψύξης και θέρμανσης των χώρων γραφείου καθώς και το χρονοδιάγραμμα προσέλευσης ατόμων.



ΣΧΗΜΑ 2: ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ



ΣΧΗΜΑ 3: ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΩΝ ΓΡΑΦΕΙΩΝ



ΣΧΗΜΑ 4: ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗΣ ΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΓΡΑΦΕΙΟ

## Χώροι Κτηρίου

Όσον αφορά του χώρους του κτηρίου, το συγκεκριμένο κτήριο αποτελείται από του παρακάτω 25 χώρους που φαίνονται στον πίνακα 1.

Χώρος	Space Area [m2]
BREAKROOM 206	57.5
CLOSED OFFICE 202	40
CLOSEDOFFICE 102	40
CONFERENCE 205	100
CORRIDOR 201	340
CORRIDOR GROUND	440
IT_ROOM 106	57.5
LOBBY 104	100
OPENOFFICE 103	90

OPENOFFICE 107	57.5
OPENOFFICE 108	57.5
OPENOFFICE 109	57.5
OPENOFFICE 203	90
OPENOFFICE 204	100
OPENOFFICE 207	57.5
OPENOFFICE 208	57.5
OPENOFFICE 209	57.5
WC MEN EAST 1ST FLOOR	20
WC MEN EAST GROUND	20
WC MEN WEST 1ST FLOOR	20
WC MEN WEST GROUND	20
WC WOMEN EAST 1ST FLOOR	20
WC WOMEN EAST GROUND	20
WC WOMEN WEST 1ST FLOOR	20
WC WOMEN WEST GROUND	20
Total	1960

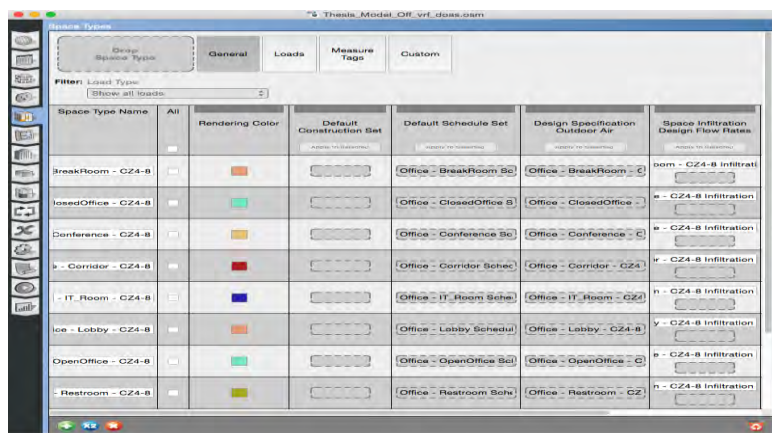
ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΧΩΡΟΙ ΚΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥΣ

## Τύποι Χώρων

Οι τύποι χώρων που έχουν οριστεί στο μοντέλο είναι οι παρακάτω:

- Break Room
- Closed Office
- Conference
- Corridor
- Open Office
- IT-Room
- Lobby
- Rest Room

Παρατίθεται επίσης ένα στιγμιότυπο στην εικόνα 11 της πλατφόρμας OpenStudio για καλύτερη κατανόηση των όσων αναφέρονται:



ΕΙΚΟΝΑ 10: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΤΟΥ OPENSTUDIO ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

### Κατασκευές - Υλικά

Όσον αφορά τις φυσικές ιδιότητες των υλικών και κατασκευών που έχουν χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο, και πιο συγκεκριμένα των τοίχων, της οροφής, των παραθύρων, των πορτών καθώς και του δαπέδου, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι συγκεκριμένες τιμές καλύπτουν απόλυτα τις ενεργειακές προϋποθέσεις που έχουν τεθεί σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων) από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. [16].

Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές που ισχύουν για την κλιματική ζώνη Β είναι οι παρακάτω:

- Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές): **0.45**
- Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους: **0.9**
- Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα: **0.5**
- Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες): **3.00**

Δομικό Υλικό	Roughness	Thickness [m]	Conductivity [W/m·K]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific Heat [J/kgK]	Thermal Absorptance	Solar Absorptance	Visible Absorptance	U-Value [W/m <sup>2</sup> -K]	Reflectance
Outside Layer										
<b>1 IN Stucco</b>	Smooth	0.0253	0.6918	1858	837	0.9	0.92	0.92		
<b>8IN Concrete HW</b>	Medium-Rough	0.2033	1.7296	2243	837	0.9	0.65	0.65		
<b>Wall Insulation</b>	Medium-Rough	0.0794	0.0432	91	837	0.9	0.5	0.5		
<b>1/2 IN Gypsum</b>	Smooth	0.0127	0.16	784.9	830	0.9	0.4	0.4		
Inside Layer										
<b>Total</b>		0.3207							<b>0.45</b>	0.08

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Δομικό Υλικό	Roughness	Thickness [m]	Conductivity [W/m·K]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific Heat [J/kgK]	Thermal Absorptance	Solar Absorptance	Visible Absorptance	U-Value [W/m <sup>2</sup> -K]	Reflectance
Outside Layer										
<b>Roof Membrane</b>	Very-Rough	0.0095	0.16	1121.29	1460	0.9	0.7	0.7		
<b>Roof Insulation</b>	Medium-Rough	0.2105	0.049	265	836.8	0.9	0.7	0.7		
<b>Metal Decking</b>	Medium-Smooth	0.0015	45.006	7680	418.4	0.9	0.6	0.6		

Inside Layer										
<b>Total</b>		0.2215							<b>0.223</b>	0.3

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΡΟΦΗΣ

Δομικό Υλικό	Roughness	Thickness [m]	Conductivity [W/m·K]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific Heat [J/kgK]	Thermal Absorptance	Solar Absorptance	Visible Absorptance
Outside Layer								
<b>G05 2mm wood</b>	Medium Smooth	0.0254	0.15	608	1630	0.9	0.5	0.5
Inside Layer								
<b>Total</b>								

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΟΡΤΑΣ

Δομικό Υλικό	Roughness	Thickness [m]	Conductivity [W/m·K]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific Heat [J/kgK]	Thermal Absorptance	Solar Absorptance	Visible Absorptance	U-Value [W/m <sup>2</sup> -K]
Outside Layer									
<b>F08 Metal Surface</b>	Smooth	0.0008	45.28	7824	500	0.9	0.7	0.7	
<b>I01 25mm Insulation board</b>	Medium Rough	0.0254	0.03	43	1210	0.9	0.6	0.6	
Inside Layer									
<b>Total</b>									1.004

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΟΡΤΑΣ

Δομικό Υλικό	Roughness	Thickness [m]	Conductivity [W/m·K]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific Heat [J/kgK]	Thermal Absorptance	Solar Absorptance	Visible Absorptance	U-Value [W/m <sup>2</sup> -K]	Reflectance
Outside Layer										
<b>4 HW Concrete</b>	Rough	0.1016	1.311	2240	836.8	0.9	0.85	0.85		
<b>CP Pad</b>	Smooth	-	-	-	0	0.9	0.8	0.8		
Inside Layer										
<b>Total</b>									0.85	0.15

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΑΠΕΔΟΥ

Τα επόμενα στοιχεία εισόδου που θα αναφερθούν είναι τα φορτία που υπάρχουν σε κάθε χώρο/ζώνη του κτηρίου και ανάγονται σε φορτία εσωτερικού φωτισμού, ηλεκτρικού εξοπλισμού, καθώς και στα φορτία των εσωτερικών μονάδων κλιματισμού.

### Φορτία Εσωτερικού Φωτισμού

Οι τιμές που χρησιμοποιούνται ανά μονάδα επιφάνειας αποτελούν τις τιμές που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ για τις αίθουσες ίδιου τύπου που υπάρχουν στον πίνακα 2.4 της Τεχνικής Οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010) [16].

Zone/Space	Total Power [W]	Lighting Power Density [W/m <sup>2</sup> ]
BREAKROOM 206	668.44	11.625
CLOSED OFFICE 202	640	16
CLOSEDOFFICE 102	640	16
CONFERENCE 205	1259.38	12.5938
CORRIDOR 201	2176	6.4
CORRIDOR GROUND	2816	6.4
IT_ROOM 106	612.74	10.6563
LOBBY 104	800	8
OPENOFFICE 103	1440	16
OPENOFFICE 107	920	16
OPENOFFICE 108	920	16
OPENOFFICE 109	920	16
OPENOFFICE 203	1440	16
OPENOFFICE 204	1600	16
OPENOFFICE 207	920	16
OPENOFFICE 208	920	16
OPENOFFICE 209	920	16
WC MEN EAST 1ST FLOOR	128	6.4
WC MEN EAST GROUND	128	6.4
WC MEN WEST 1ST FLOOR	128	6.4
WC MEN WEST GROUND	128	6.4
WC WOMEN EAST 1ST FLOOR	128	6.4
WC WOMEN EAST GROUND	128	6.4
WC WOMEN WEST 1ST FLOOR	128	6.4
WC WOMEN WEST GROUND	128	6.4
<b>Total</b>	<b>1960</b>	

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΧΩΡΟ

### Φορτία Ηλεκτρικού Εξοπλισμού

Οι τιμές που χρησιμοποιούνται ανά μονάδα επιφάνειας αποτελούν τις τιμές που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ για τις αίθουσες ίδιου τύπου που υπάρχουν στον πίνακα 2.8 της Τεχνικής Οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010) [16]. Παρακάτω

στον πίνακα 8 φαίνονται τα συνολικά φορτία εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτρικού εξοπλισμού για κάθε χώρο του κτηρίου.

Name	Equipment Level [W]	Equipment/Floor Area [W/m2]
BREAKROOM 206	2760.405	48.007
CLOSED OFFICE 202	180	4.5
CLOSEDOFFICE 102	180	4.5
CONFERENCE 205	398.265	3.983
CORRIDOR 201	585.557	1.722
CORRIDOR GROUND	757.779	1.722
IT_ROOM 106	965.523	16.792
LOBBY 104	1000	10
OPENOFFICE 103	405	4.5
OPENOFFICE 107	258.75	4.5
OPENOFFICE 108	258.75	4.5
OPENOFFICE 109	258.75	4.5
OPENOFFICE 203	405	4.5
OPENOFFICE 204	450	4.5
OPENOFFICE 207	258.75	4.5
OPENOFFICE 208	258.75	4.5
OPENOFFICE 209	258.75	4.5
WC MEN EAST 1ST FLOOR	15.069	0.753
WC MEN EAST GROUND	15.069	0.753
WC MEN WEST 1ST FLOOR	15.069	0.753
WC MEN WEST GROUND	15.069	0.753
WC WOMEN EAST 1ST FLOOR	15.069	0.753
WC WOMEN EAST GROUND	15.069	0.753
WC WOMEN WEST 1ST FLOOR	15.069	0.753
WC WOMEN WEST GROUND	15.069	0.753
Total	<b>9760.581</b>	

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΧΩΡΟ

### Απαιτούμενος νωπός αέρας

Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για κάθε χώρο, αποτελούν τις τιμές που ορίζει ο ΚΕΝΑΚ για τους χώρους ίδιου τύπου που υπάρχουν στον πίνακα 2.3 της Τεχνικής Οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010), μετριοούνται σε κυβικά μέτρα/δευτερόλεπτο/άτομο (m<sup>3</sup>/sec/person) και απεικονίζονται για κάθε ένα

χώρο του κτηρίου στον πίνακα 9. Στους χώρους όπου υπάρχει παύλα (-), συμβαίνει διότι ο KENAK δεν ορίζει κάποιες τιμές για τους συγκεκριμένους χώρους [16].

Demand Controlled Ventilation	
Zone/Space	Outdoor Air Per Person [m <sup>3</sup> /s-person]
BREAKROOM 206	0.007079
CLOSED OFFICE 202	0.009439
CLOSEDOFFICE 102	0.009439
CONFERENCE 205	0.009439
CORRIDOR 201	-
CORRIDOR GROUND	-
IT_ROOM 106	-
LOBBY 104	0.007079
OPENOFFICE 103	0.009439
OPENOFFICE 107	0.009439
OPENOFFICE 108	0.009439
OPENOFFICE 109	0.009439
OPENOFFICE 203	0.009439
OPENOFFICE 204	0.009439
OPENOFFICE 207	0.009439
OPENOFFICE 208	0.009439
OPENOFFICE 209	0.009439
WC MEN EAST 1ST FLOOR	-
WC MEN EAST GROUND	-
WC MEN WEST 1ST FLOOR	-
WC MEN WEST GROUND	-
WC WOMEN EAST 1ST FLOOR	-
WC WOMEN EAST GROUND	-
WC WOMEN WEST 1ST FLOOR	-
WC WOMEN WEST GROUND	-

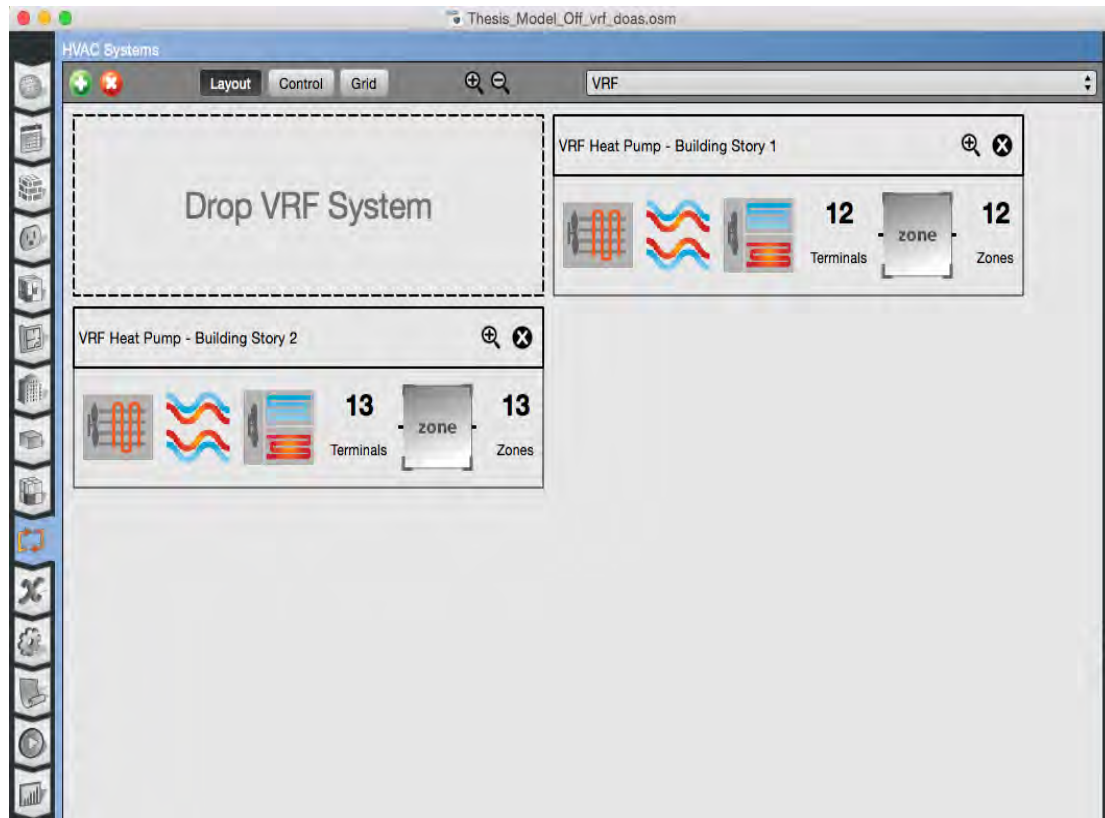
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΑΠΙΘΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΩΠΟ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΧΩΡΟ ΑΝΑ ΑΤΟΜΟ

### Συστήματα Κλιματισμού – Αντλίες Θερμότητας Συστήματος Μεταβαλλόμενου όγκου ρευστού

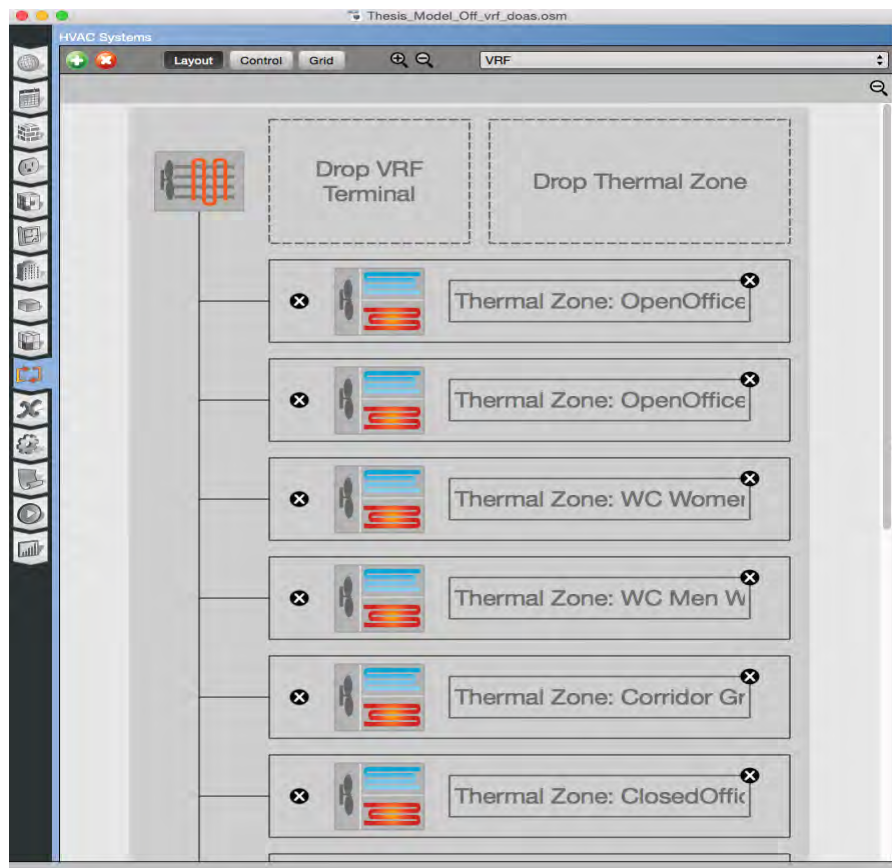
Το κτήριο διαθέτει μια αντλία θερμότητας που λειτουργεί σε συνδυασμό με το σύστημα μεταβλητού όγκου ψυκτικού ρευστού και διαθέτει ανάκτηση θερμότητας καθώς και μια εξωτερική μονάδα αερισμού, για κάθε όροφο του κτηρίου. Επομένως,



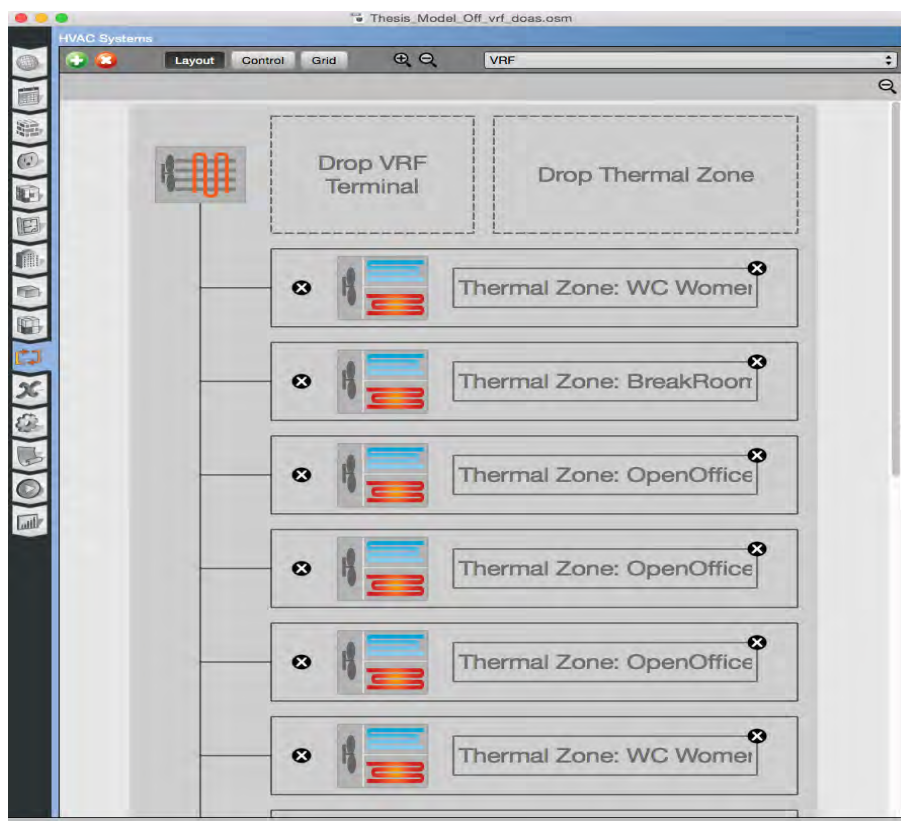
συνολικά το κτήριο διαθέτει 2 συστήματα αντλιών θερμότητας σε συνδυασμό με τα VRF και 2 εξωτερικές μονάδες αερισμού. Παρακάτω παρουσιάζονται στιγμιότυπα για κάθε ένα σύστημα από τα προαναφερθέντα καθώς και γενικές πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά τους.



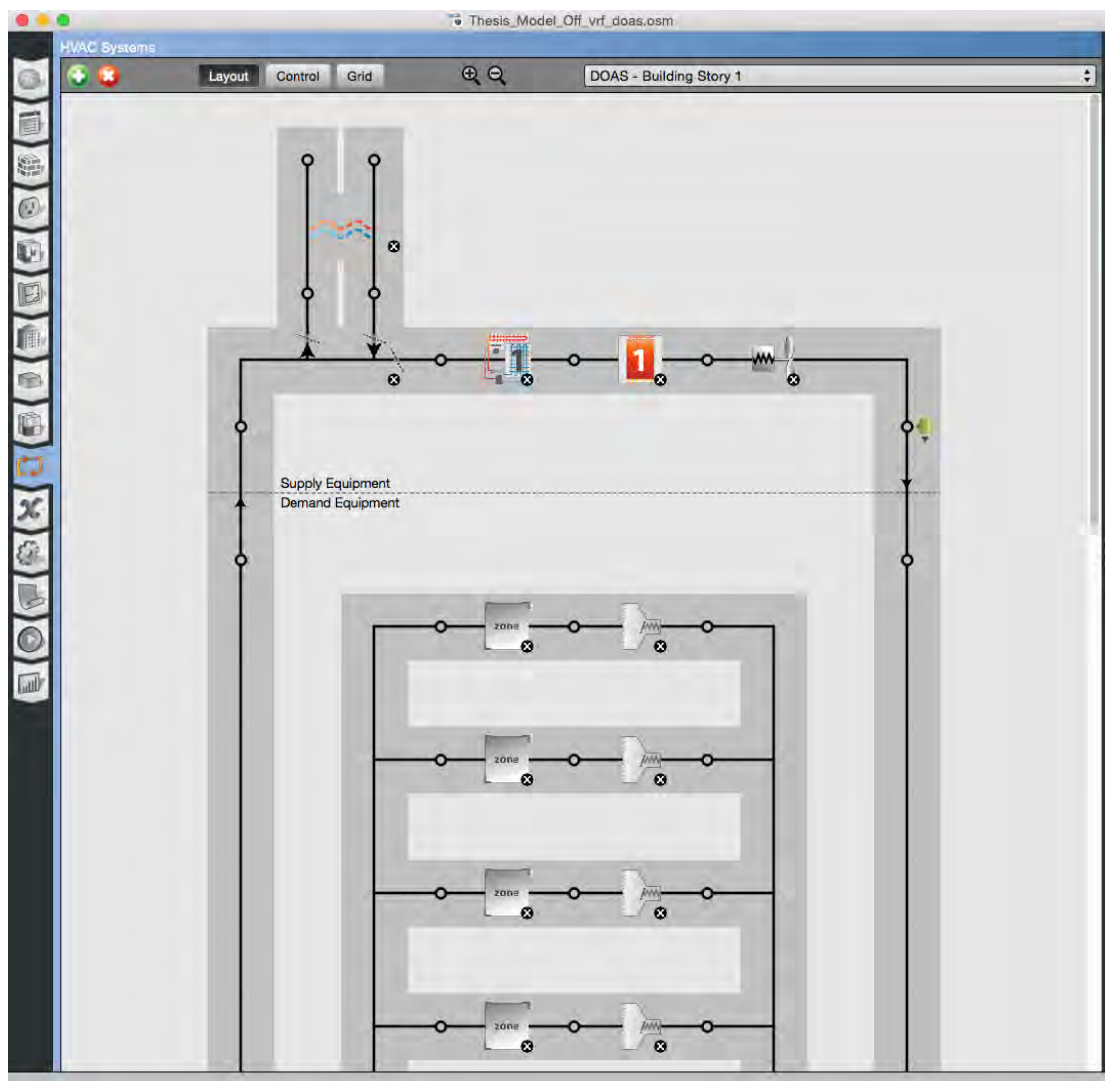
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΤΑ 2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ VRF ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



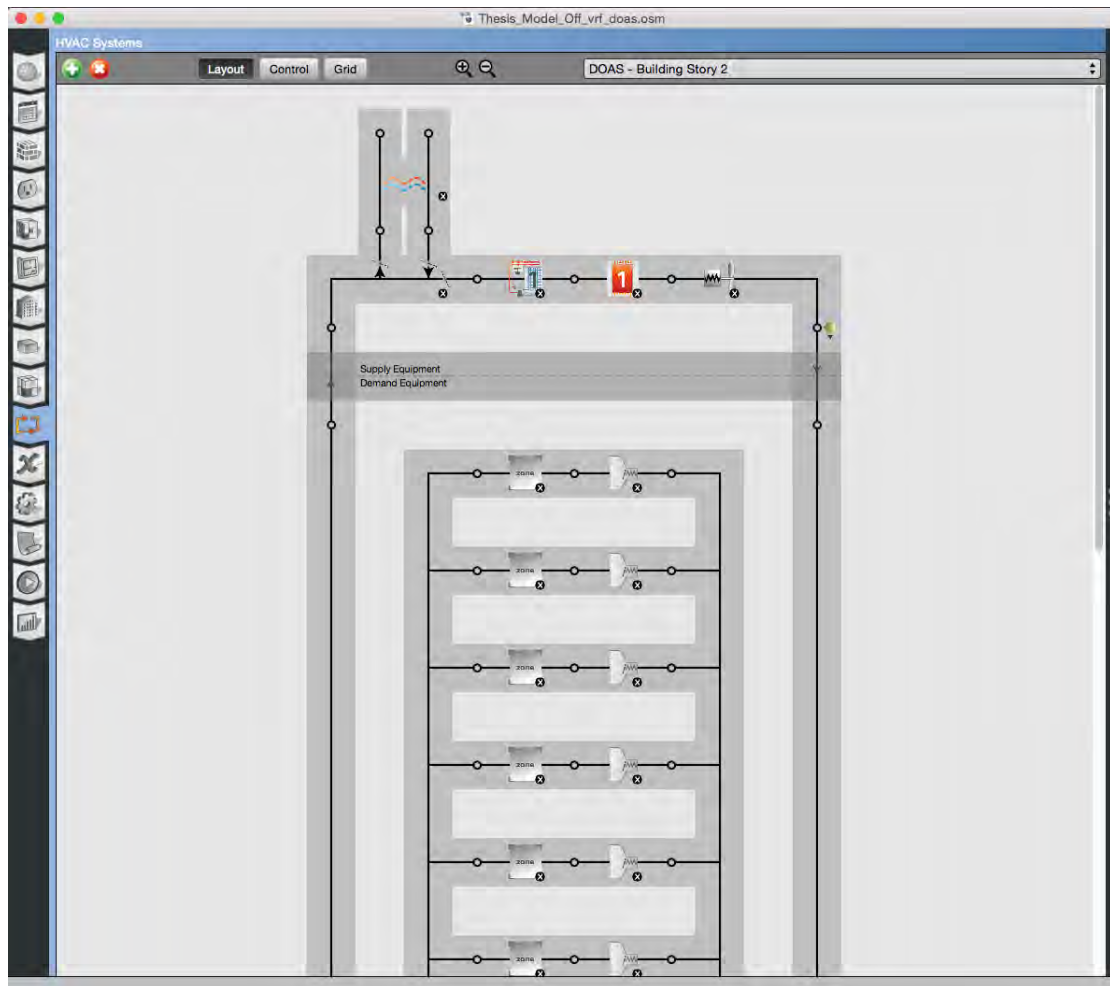
ΕΙΚΟΝΑ 12: VRF HEAT PUMP 1 - ΙΣΟΓΕΙΟ



ΕΙΚΟΝΑ 13: VRF HEAT PUMP 1 – ΟΡΟΦΟΣ 1



Εικόνα 14: Εξωτερική μονάδα αερισμού 1 – Ισόγειο



Εικόνα 15: Εξωτερική μονάδα αερισμού 1 – οροφος 1

VRF Heat Pump - Building Story 1	
System Type	Terminal Units
Zone Number	12
VRF Terminal Units Number	12
Ventilation	Dedicated Outdoor Air System (DOAS)
Cooling Rate	4 COP
Heating Rate	4 COP
Max Outdoor Temp Cooling Mode	43 °C
Min Outdoor Temp Heating Mode	-20 °C
Heat Pump Waste Heat Recovery	Yes
Design Size Rated Total Cooling Capacity	71418 [W]
Design Size Rated Total Heating Capacity	71418 [W]

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ VRF HEAT PUMP 1

VRF Heat Pump - Building Story 2	
System Type	Terminal Units
Zone Number	13
VRF Terminal Units Number	13
Ventilation	Dedicated Outdoor Air System (DOAS)
Cooling Rate	4 COP
Heating Rate	4 COP
Max Outdoor Temp Cooling Mode	43 °C
Min Outdoor Temp Heating Mode	-20 °C
Heat Pump Waste Heat Recovery	Yes
Design Size Rated Total Cooling Capacity	45735 [W]
Design Size Rated Total Heating Capacity	45735 [W]

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ VRF 2

### Συστήματα Κλιματισμού – Εξωτερικές Μονάδες Αερισμού

DOAS - Building Story 1	
Ventilation Supply Type	Scheduled
Ventilation Sizing Method	Sum of OA Airflows
Equipment Sizing	Auto-sized
Terminal Units Number	13
Ventilation	Dedicated Outdoor Air System (DOAS)
Design Supply Air Flow Rate	1.37 [m3/s]

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ 1

DOAS - Building Story 2	
Ventilation Supply Type	Scheduled
Ventilation Sizing Method	Sum of OA Airflows
Equipment Sizing	Auto-sized
Terminal Units Number	13

Ventilation	Dedicated Outdoor Air System (DOAS)
Design Supply Air Flow Rate	1.58 [m <sup>3</sup> /s]

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ 2

### Ψυκτικά και Θερμαντικά στοιχεία των εξωτερικών μονάδων αερισμού

Coil Cooling DX - DOAS Building Story 1	
Standard Rating (Net) Cooling Capacity	33007 [W]
Standard Rated Net COP [W/W]	2.63

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΨΥΞΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ 1

Coil Heating Gas 1	
Total Capacity [W]	19065
Efficiency [W/W]	0.8

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

1

Coil Cooling DX - DOAS Building Story 2	
Standard Rating (Net) Cooling Capacity	38196 [W]
Standard Rated Net COP	2.63

ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΨΥΞΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ 2

Coil Heating Gas 2	
Total Capacity [W]	22062.51
Efficiency	0.8

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

2

VRF Heat Pump 1 Central Fan						
	Type	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m3/s]	Rated Electric Power [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W-s/m3]
FAN VARIABLE VOLUME 1	Fan:Variable Volume	0.69	1125	1.37	2231	1630

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΣ VRF HEAT PUMP 1

Central VRF Heat Pump 2						
	Type	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m3/s]	Rated Electric Power [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W- s/m3]
FAN VARIABLE VOLUME 2	Fan:VariableVo lume	0.69	1125	1.58	2581	1630

ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΣ VRF HEAT PUMP 2

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

#### 5.1 Εισαγωγή

Μετά από την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων που χρειάζεται το λογισμικό για να υλοποιήσει την προσομοίωση του μοντέλου, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναφορικά με τα φορτία ψύξης, θέρμανσης και αερισμού, καθώς επίσης και η ενεργειακή κατανάλωση των υπόλοιπων συσκευών που υπάρχουν στο κτήριο. Συγκεκριμένα, θα γίνει αναφορά στα απαιτούμενα φορτία ψύξης, θέρμανσης και αερισμού για κάθε ζώνη του κτηρίου. Σε αρχικό στάδιο υλοποιείται από το λογισμικό μια διαδικασία διαστασιολόγησης λαμβάνοντας υπόψιν τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί και αναφέρθηκαν αναλυτικότερα παραπάνω. Ο υπολογισμός της διαστασιολόγησης γίνεται για όλη της διάρκεια του έτους, δηλαδή από τον Ιανουάριο μέχρι και τον Δεκέμβριο και συγκεκριμένα για 8760 ώρες. Στην συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας όπου φαίνονται αναλυτικά για κάθε χώρο τα φορτία ψύξης, θέρμανσης καθώς επίσης και τα τετραγωνικά μέτρα του κάθε χώρου και οι απαιτήσεις του σε νωπό αέρα.

Zone/Space	Sensible Cooling Load [W]	Sensible Heating Load [W]	Space Area [m <sup>2</sup> ]	Air Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]
BREAKROOM 206	5576	4129	57.5	0.13
CLOSED OFFICE 202	3596	3722	40	0.13
CLOSEDOFFICE 102	2306	2902	40	0.1
CONFERENCE 205	8186	8028	100	0.1
CORRIDOR 201	7818	20680	340	0.75
CORRIDOR GROUND	3316	18652	440	0.19
IT_ROOM 106	1873	3192	57.5	0.31
LOBBY 104	7228	6461	100	0.59
OPENOFFICE 103	3753	5097	90	0.1
OPENOFFICE 107	1479	3214	57.5	0.15
OPENOFFICE 108	1480	3214	57.5	0.13
OPENOFFICE 109	1477	3200	57.5	0.1
OPENOFFICE 203	6220	6799	90	0.1
OPENOFFICE 204	6800	7479	100	0.45
OPENOFFICE 207	2465	4173	57.5	0.2
OPENOFFICE 208	2460	4179	57.5	0.2
OPENOFFICE 209	2454	4151	57.5	0.2



WC MEN EAST 1ST FLOOR	767	1919	20	0.1
WC MEN EAST GROUND	300	1587	20	0.1
WC MEN WEST 1ST FLOOR	842	1919	20	0.1
WC MEN WEST GROUND	358	1587	20	0.55
WC WOMEN EAST 1ST FLOOR	601	1405	20	0.84
WC WOMEN EAST GROUND	134	1110	20	0.29
WC WOMEN WEST 1ST FLOOR	601	1405	20	0.51
WC WOMEN WEST GROUND	169	1110	20	0.67

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΨΥΚΤΙΚΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΖΩΝΗ

Στους πίνακες 20 και 21 φαίνονται η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του εσωτερικού φωτισμού και του ηλεκτρικού εξοπλισμού αντίστοιχα, για κάθε χώρο του κτηρίου.

Electric Plug Load Consumption	
Zone/Space	Annual Value (kWh)
BREAKROOM 206	13075
CLOSED OFFICE 202	853
CLOSED OFFICE 102	853
CONFERENCE 205	1886
CORRIDOR 201	2772
CORRIDOR GROUND	3588
IT_ROOM 106	4572
LOBBY 104	4736
OPEN OFFICE 103	1919
OPEN OFFICE 107	1225
OPEN OFFICE 108	1225
OPEN OFFICE 109	1225
OPEN OFFICE 203	1919
OPEN OFFICE 204	2130
OPEN OFFICE 207	1225
OPEN OFFICE 208	1225
OPEN OFFICE 209	1225
WC MEN EAST 1ST FLOOR	72
WC MEN EAST GROUND	72
WC MEN WEST 1ST FLOOR	72
WC MEN WEST GROUND	72
WC WOMEN EAST 1ST FLOOR	72
WC WOMEN EAST GROUND	72
WC WOMEN WEST 1ST FLOOR	72
WC WOMEN WEST GROUND	72

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΧΩΡΟ

Interior Lighting	
Zone/Space	Annual Value (kWh)
BREAKROOM 206	2155
CLOSED OFFICE 202	2063
CLOSEDOFFICE 102	2063
CONFERENCE 205	4061
CORRIDOR 201	7016
CORRIDOR GROUND	9083
IT_ROOM 106	1975
LOBBY 104	2580
OPENOFFICE 103	4644
OPENOFFICE 107	2966
OPENOFFICE 108	2966
OPENOFFICE 109	2966
OPENOFFICE 203	4644
OPENOFFICE 204	5161
OPENOFFICE 207	2966
OPENOFFICE 208	2966
OPENOFFICE 209	2966
WC MEN EAST 1ST FLOOR	413
WC MEN EAST GROUND	413
WC MEN WEST 1ST FLOOR	413
WC MEN WEST GROUND	413
WC WOMEN EAST 1ST FLOOR	413
WC WOMEN EAST GROUND	413
WC WOMEN WEST 1ST FLOOR	413
WC WOMEN WEST GROUND	413

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

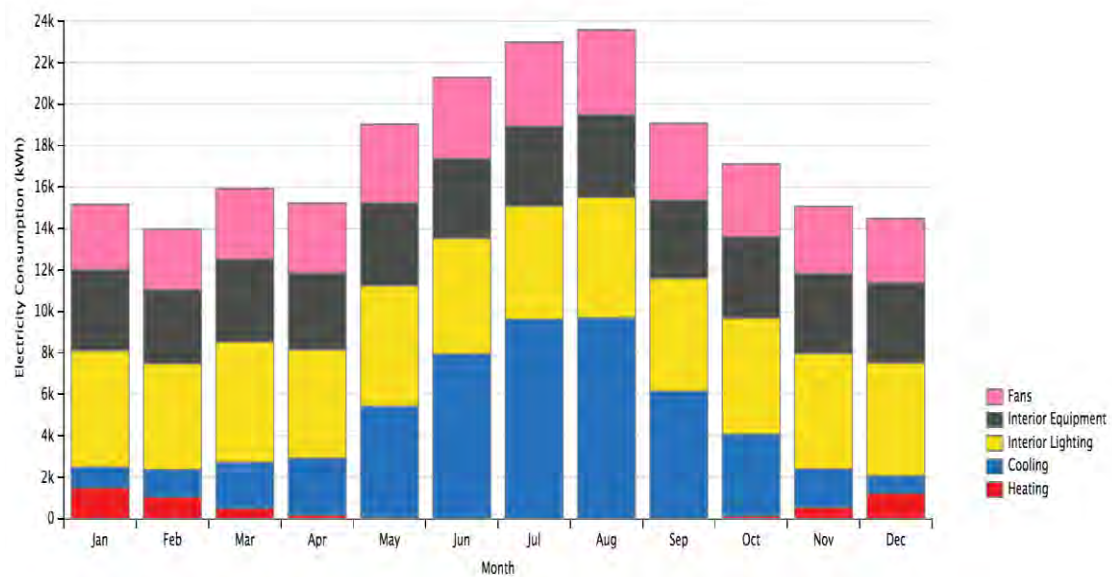
Παρακάτω παρουσιάζονται τα μηνιαία αποτελέσματα της προσομοίωσης ως προς την ενεργειακή κατανάλωση όλου του κτηρίου καθώς και τα αποτελέσματα υπό κατηγορίες για όλη την περίοδο προσομοίωσης.

Electricity Consumption (kWh)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Heating	1492	1042	498.6	173.8	43.7	4.8	0.3	0.6	21.1	139	541	1219	5177
Cooling	997.4	1325	2220	2743	5387	7944	9622	9686	6130	3934	1859	844	5269 3
Interior Lighting	5609	5118	5817	5231	5817	5584	5465	5817	5440	5609	5584	5465	6655 7

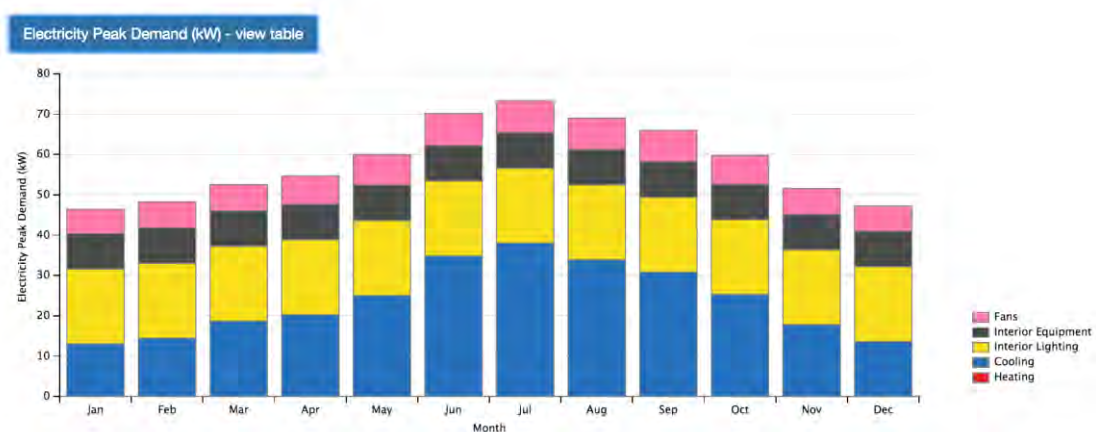
<b>Interior Equipment</b>	3914.0	3550.9	3990.1	3706.6	3990	3844	3853	3990	3783	3914	3844	3853	4623.2
<b>Fans</b>	3150	2912	3393	3360	3792	3903	4046	4088	3688	3525	3230	3098	4218.4
<b>TOTAL</b>	15162	13948	15920	15216	19030	21279	22986	23582	19062	17121	15057	14479	21284.4

ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ

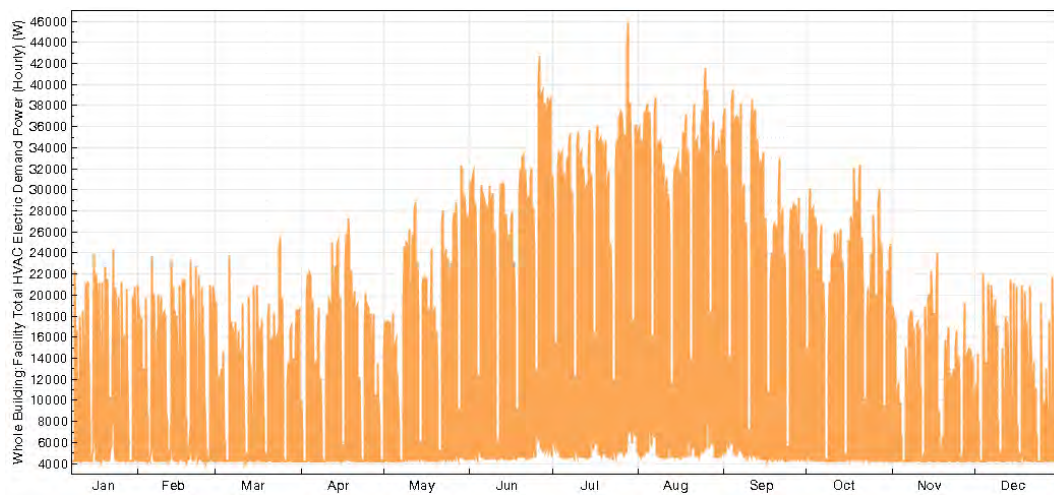
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πάλι η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση ανά μήνα και κατηγορία φορτίου σε μοφή ραβδογράμματος.



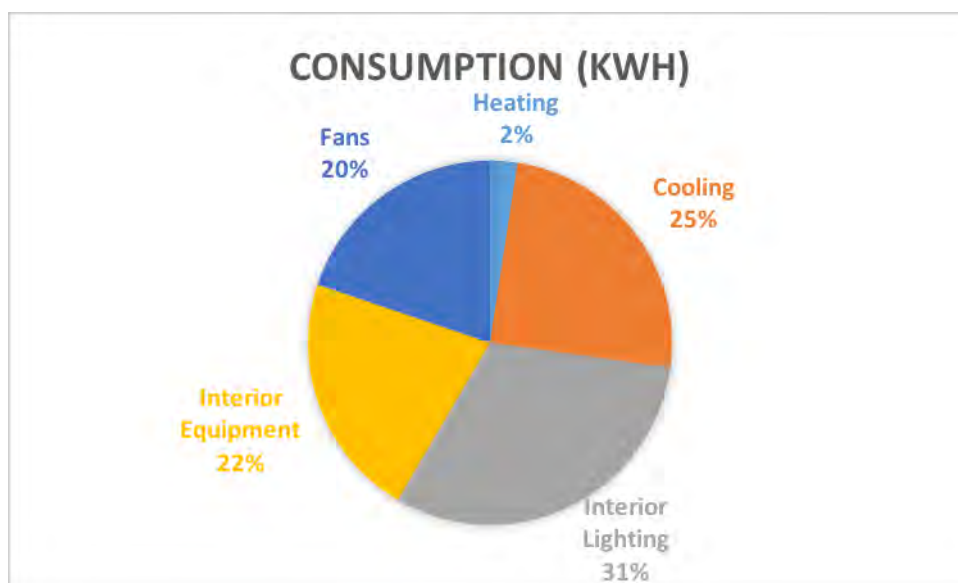
ΣΧΗΜΑ 5: ΡΑΒΔΟΓΡΑΜΜΑ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ



ΣΧΗΜΑ 6: ELECTRICITY PEAK DEMAND



Σχήμα 35: Ετήσια ζητούμενη ισχύς όλου του κτηρίου



Σχήμα 7: ποσοστιαία καταναλωση ανα κατηγορια

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα υπάρξουν δύο σκέλη ανεξάρτητα μεταξύ τους, με το πρώτο σκέλος να σχετίζεται με την ενεργειακή απόδοση του κτηρίου και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, ενώ το δεύτερο σκέλος θα προσεγγίσει τις μελλοντικές σκέψεις που υπάρχουν γύρω από το συγκεκριμένο αντικείμενο, καθώς και τις μελλοντικές προκλήσεις που μπορεί να υπάρξουν στην επιστήμη ενό μηχανικού ενέργειας.

Έχοντας ολοκληρώσει την ενεργειακή μοντελοποίηση και έχοντας συγκεντρώσει όλα τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει αναφορικά με τα φορτία, τις καταναλώσεις και την ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου, είναι πλέον εφικτό να διεξαχθεί μια αξιολόγηση για την ένταση χρήσης ενέργειας του κτηρίου και κατά πόσο η συγκεκριμένη κατασκευή αποτελεί ένα αποδοτικό εγχείρημα ή χρειάζεται κάποιες τροποποιήσεις όσον αφορά το κέλυφος και τα δομικά αλλά και λειτουργικά του συστήματα. Αρχικά, θα πρέπει να γίνει σαφές ότι το κτήριο καλύπτει απόλυτα τις ενεργειακές του ανάγκες, χωρίς να υπάρχουν στιγμές κατά την διάρκεια της περιόδου προσομοιώσεων που να μην καλύπτονται οι συνθήκες άνεσης κάθε χώρου. Αναφορικά με τον όρο ένταση χρήσης ενέργειας (Energy Use Intensity – EUI), στον τομέα της ενέργειας και συγκεκριμένα στις τεχνολογίες κτηρίων, ο συγκεκριμένος όρος ορίζεται ως η κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας, η οποία σαν τιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται από το κτήριο αλλά και την αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας του κτηρίου. Στο συγκεκριμένο μοντέλο η τιμή της έντασης χρήσης ενέργειας προκύπτει στα 35.8kBTu/ft<sup>2</sup> ή 406.9 MJ/m<sup>2</sup> ή 122.7 kWh/m<sup>2</sup>, η οποία είναι αρκετά υψηλή σύμφωνα με το άρθρο «Energy Use in Office Buildings» [22]. Όσον αφορά τις βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν στο κτήριο σχετικά με την αναβάθμιση της ενεργειακής του αποδοτικότητας, υπάρχουν πάρα πολλές προτάσεις και ίσως οι περισσότερες αποτελούν αναγκαίες. Κάποιες από αυτές θα μπορούσαν είναι η ενίσχυση της θερμομόνωσης του κτιρίου με υλικά χαμηλότερης θερμοπερατότητας, αντικατάσταση των θυρών και των κουφωμάτων με αντίστοιχα πιο αποδοτικά ενεργειακά καθώς και η υιοθέτηση κάποιων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Όσον αφορά τις μελλοντικές σκέψεις της συγκεκριμένης εργασίας, η ενεργειακή μοντελοποίηση του ίδιου μοντέλου, αλλά τροποποιημένου με τις βελτιώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, αποτελεί μια μελέτη που θα άξιζε να διεξαχθεί.

Όσον αφορά τις μελλοντικές προκλήσεις που υφίστανται στον συγκεκριμένο τομέα, υπάρχουν πολυάριθμες κατευθύνσεις που μπορεί να ακολουθήσει κάποιος μηχανικός

με σκοπό την βελτίωση της ποιοτικής ανάλυσης σε τέτοιου είδους προσομοιώσεις. Μια από αυτές αποτελεί η υιοθέτηση και εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, τα οποία θα επεξεργάζονται δεδομένα κατάρτισης κτηρίων, με σκοπό την βελτίωση των προσομοιώσεων κατανάλωσης καθώς και της ανάλυσης σε ζητήματα βιομηχανικού εξοπλισμού. Μια ακόμα τεχνική είναι εκείνη των support vector machine (SVM), η οποία παρουσιάζει αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας σε σχετικά μικρό αριθμό δεδομένων, κάτι το οποίο αποτελεί αρκετά θετικό για την εξέλιξη των συγκεκριμένων ερευνών. Αδιαμφισβήτητα το συγκεκριμένο αντικείμενο εμπεριέχει ένα μεγάλο εύρος από προοπτικές, τις οποίες μπορούν να δοκιμάσουν μηχανικοί και ερευνητές ανά τον κόσμο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] U. Berardi, "Building Energy Consumption in US, EU, and BRIC Countries", *Procedia Engineering*, vol. 118, pp. 128-136, 2015.
- [2] BP, British Petroleum, *Statistical Review of World Energy*, 2010.
- [3] IEA, International Energy Agency, *CO2 emissions from fuel combustion*, 2014.
- [4] IEA, International Energy Agency, *Modernising Building Energy Codes*, 2013.
- [5] IEA, International Energy Agency, *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*, 2013.
- [6] A. GhaffarianHoseini, A. GhaffarianHoseini, N. Dahlan, U. Berardi, N. Makaremi, *Sustainable energy performances of green buildings: a review of current theories, implementations and challenges*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 25 (2013) 1-17.
- [7] EIA, U.S. Energy Information Administration, *International Energy Outlook*, U.S. Department of Energy, 2014.
- [8] U. Berardi, *Moving to sustainable buildings: paths to adopt green innovations in developed countries*, Versita, London, 9788376560090, 2013.
- [9] U. Berardi, *Sustainability Assessment in the Construction Sector: Rating Systems and Rated Buildings*. *Sustainable Development* 20(6) (2012) 411-424.
- [10] EU, European Commission, *EU Energy, Transport and GHG emissions Trends to 2050*, 2013.
- [11] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Chapter 9: Buildings, 2014.
- [12] Rocky Mountain Institute, *Building Energy Modelling for Owners and Managers*, 2013

- [13] "Heating and cooling - Energy - European Commission", Energy, 2017.  
[Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling> . [Accessed: 09- Sep- 2017].
- [14] F. Gugliermetti, F. Bisegna, «Meteorological days for HVAC system design in Mediterranean climate», Building and Environment, vol. 38, no. 8, pp. 1063-1074, 2003.
- [15] «VR or VRV? Learn about the differences and VRF Design», CoolAutomation, 2017. [Online]. Available: <https://coolautomation.com/wiki/vrv-or-vrf/> . [Πρόσβαση: 3/10/2017]
- [16] Τ.Ε.Ε, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 - Αναλυτικές Εθνικές Προδιαγραφές Παραμέτρων για το Υπολογισμό της Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων και την Έκδοση του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης, Β' Έκδοση, Αθήνα, Απρίλιος 2012
- [17] Energycodeace.com, 2017. [Online]. Available: <https://energycodeace.com/site/custom/public/reference-ace-2013/index.html#!Documents/53thermalzones.htm> . [Accessed: 12- Aug- 2017].
- [18] "EnergyPlus", Energyplus.net, 2017. [Online]. Available: <https://energyplus.net> . [Accessed: 25- Jul- 2017].
- [19] "Mehvac", "Mehvac-blog.com, 2017. [Online]. Available: [http://www.mehvac-blog.com/wp-content/uploads/2014/02/February-5\\_Rise-in-VRF-Technology-Image.jpg](http://www.mehvac-blog.com/wp-content/uploads/2014/02/February-5_Rise-in-VRF-Technology-Image.jpg) . [Accessed: 7- Aug- 2017].
- [20] "OpenStudio | OpenStudio", Openstudio.net, 2017. [Online]. Available: <https://www.openstudio.net> . [Accessed: 17- Jun- 2017].
- [21] "EnergyPlus | Department of Energy", Energy.gov, 2017. [Online]. Available: <https://energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0> . [Accessed: 11- Jun- 2017].
- [22] "OpenStudio | Department of Energy", Energy.gov, 2017. [Online]. Available: <https://energy.gov/eere/buildings/downloads/openstudio-0> . [Accessed: 19- Jun- 2017].



[23] 2017. [Online]. Available:  
[https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/DataTrends\\_Office\\_20121002.pdf](https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/DataTrends_Office_20121002.pdf) . [Accessed: 03- Aug- 2017].